

Análise da influência dos parâmetros de corte sobre a rugosidade superficial e no grau de recalque na usinagem do aço inoxidável austenítico ABNT 304

Denis Ferreira da Silva

Augusto Carneiro e Caixeta

Raphael Silva Lins

Virgílio Pires Teixeira

Luciano Fernandes

Vitor Tomaz Guimarães Naves

Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Instituto de Ciências Tecnológicas e Exatas, Departamento da Engenharia Mecânica, Avenida Randolpho Borges Júnior, 2856 – Uberaba – Minas Gerais

denis_ferreira00@hotmail.com

augustocarneiro.edu@gmail.com

raphael.lins@gmail.com

d201810859@uftm.edu.br

luciano.fernandes@uftm.edu.br

vitor.naves@uftm.edu.br

Resumo. Os aços inoxidáveis atualmente representam uma significativa parcela dos materiais submetidos a operações de usinagem, sendo por muitas vezes aplicados nas indústrias automobilística, petroquímica, sucroalcooleira, laticínios, em aplicações aeronáuticas, ferroviárias, navais, hospitalares e entre outras. O aço inoxidável austenítico do tipo ABNT 304 é amplamente usado na indústria metal-mecânica devido à sua alta resistência à corrosão, elevada tenacidade e boa soldabilidade, além de ser uma liga comum entre os aços inoxidáveis. Porém, eles tendem a apresentar baixa usinabilidade, com a formação de cavacos longos e emaranhados, em cortes contínuos, que são prejudiciais ao processo de acabamento superficial do material e prejudiciais a vida útil da ferramenta de corte. Isto ocorre em virtude destes materiais apresentarem baixa condutividade térmica e pela alta capacidade de endurecimentos por deformação, além de serem capazes de formar arestas postizas de corte, que é um fenômeno que pode agravar a integridade da aresta de corte e prejudicar o acabamento das superfícies usinadas. Este trabalho tem o objetivo de caracterizar a influência dos parâmetros de corte, velocidade de corte (v_c), avanço (f) e profundidade de corte (a_p) e variou-se também o sistema de lubri-refrigeração, onde os testes foram realizados a seco e com aplicação de fluido de corte na forma de jorro em abundância. Foi avaliado os principais parâmetros da rugosidade (R_a , R_z e R_t) além do grau de recalque do cavaco. Através de um planejamento fatorial completo 2^k os testes de usinagem foram realizados no torneamento cilíndrico externo de uma peça de aço inoxidável austenítico ABNT do tipo 304. Diante dos resultados fez-se Análise de Variância (ANOVA) para a comparação das condições de usinagem avaliadas. Foram utilizados insertos de metal duro fabricados pela empresa SANDVIK revestidos com $Ti(CN)+Al_2O_3+TiN$ pelo método de deposição física a vapor (PDV). Os resultados mostraram que a rugosidade superficial e grau de recalque sofreram influência pelas condições avaliadas, sendo que menores valores de rugosidade em geral foram obtidas nas condições de menores avanço e velocidade de corte, aliados à aplicação de fluido de corte na forma de jorro. Já para o grau de recalque os resultados foram mais promissores nos valores de velocidade de corte elevadas e usinados a seco.

Palavras chave: Integridade Superficial, aço inoxidável, grau de recalque, torneamento, análise variância.

1. INTRODUÇÃO

A usinagem é uma técnica de fabricação mecânica mais utilizada em todos os setores industriais. Um dos processos de usinagem mais utilizados na manufatura é o torneamento cilíndrico externo. Este processo pode favorecer a transformação da matéria-prima em um produto acabado com alto grau de precisão dimensional e baixos valores de rugosidade superficial. Dificilmente algum produto, mesmo que indiretamente, não tenha passado pelo processo de usinagem em algum ponto de sua manufatura (Mello *et al.*, 2017).

Durante o processo de torneamento, quando o material da peça passa pela zona de cisalhamento primária, durante a formação do cavaco, o material sofre deformações plásticas, fazendo com que a espessura do cavaco, denominada h' , seja maior que a espessura do material a ser removido da peça dada pelo h . Este fenômeno é chamado de recalque. O grau de recalque R_c , representa o percentual de deformação sofrido pelo cavaco, e é dado pela relação mostrada na Equação (1), (Ferraresi, 1969).

$$R_c = \frac{h'}{h}$$

Equação (1)

É possível verificar experimentalmente que a espessura do cavaco (h'), é maior que a espessura do material removido, h (espessura de corte), e o comprimento de cavaco correspondente é por conseguinte, mais curto. Machado et al., (2009) afirmam que o grau de recalque é uma boa indicação da quantidade de deformação dentro da zona de cisalhamento primária, e que elevados valores de R_c significam grande quantidade de deformação ocorridas neste plano. Explicam também que, portanto, o grau de recalque depende das condições da interface cavaco-ferramenta, e isto é função do material da peça, material da ferramenta, condições de corte e do emprego ou não do fluido de corte.

O aço inoxidável austenítico é, segundo Silva e Mei (2010), uma liga de Fe+Cr+Ni que não endurece por tratamento de têmpera. Estes aços possuem alta plasticidade e capacidade de encruamento, o que permite que eles possam trabalhar a frio. Apresentam também excelente resistência ao impacto e são os aços com melhores características para serviços criogênicos e serviços em que é necessário tenacidade.

O aço inoxidável tem aplicações em diversos segmentos da indústria, tais como, fabricação de peças, aeroespacial, indústria química, também é amplamente utilizado o setor alimentício. Ainda, sua combinação de propriedades mecânicas e sua boa aparência estética, faz com que seja muito atrativo o estudo sobre a usinagem desses aços (Freitas et. al., 2017a).

A rugosidade de uma peça usinada é uma resposta visual de vários parâmetros de corte utilizados no processo de fabricação e dependendo de onde a peça será utilizada influência no bom funcionamento dos componentes mecânicos. Valores de rugosidade que não estiverem de acordo com certos padrões específicos podem resultar em um mau funcionamento do equipamento segundo Freitas et al., (2017b). Pode-se dizer então que a rugosidade depende de vários parâmetros, tais como, propriedades do material da peça, parâmetros de corte durante a usinagem, máquina-ferramenta, material da ferramenta, entre outros segundo Machado et. al. (2009).

Ainda de acordo com Machado et. al. (2009) para a quantificação dessa rugosidade, existem alguns importantes parâmetros, tais como: R_a (desvio aritmético médio), que representa a média aritmética dos valores absolutos das ordenadas no comprimento de amostragem; o parâmetro R_t (altura total do perfil) que é a soma da maior altura de pico do perfil e da maior profundidade de vale do perfil no comprimento de avaliação e o R_z (altura máxima do perfil), que é determinado pela soma da altura máxima dos picos e a maior profundidades dos vales no comprimento de amostragem.

O objetivo deste trabalho é avaliar a influência dos parâmetros de corte, durante o torneamento de uma liga de aço inoxidável austenítico do tipo ABNT 304, quando usinados a seco e com a aplicação de fluido de corte na forma de jorro, e investigar o comportamento da rugosidade. Para isto, foram medidos os parâmetros de rugosidade, R_a , R_t e R_z . Também, foi avaliada outra grandeza em operações de usinagem que é o grau de recalque, com a finalidade de esclarecer o comportamento da usinabilidade do material durante o processo de torneamento.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foi utilizada uma barra de aço inoxidável austenítico do tipo ABNT 304, com 100 mm de diâmetro e 250 mm de comprimento. Para o procedimento experimental e coleta de dados utilizou-se o método planejamento fatorial completo 2^k , com 4 fatores, variáveis que influenciam o processo, com dois níveis cada, como mostrado na Tab. 1, totalizando 16 experimentos.

Tabela 1. Níveis dos fatores do experimento com respectivos valores

Fator	Nível (-)	Nível (+)
Velocidade de corte (v_c)	100 m/min	200 m/min
Profundidade de corte (a_p)	0,5 mm	1,5 mm
Avanço (f)	0,1 mm/rev	0,2 mm/rev
Fluido de corte	0	1

Para o fator fluido de corte, foi escolhido opção binária devido a equação de regressão que seria obtida posteriormente. Nesta condição, o nível negativo que é igual a 0, significa que não há fluido de corte, portanto usinagem à seco. No nível positivo com valor respectivo igual a 1, significa que há fluido de corte, portanto usinagem na forma de jorro.

A Tabela 2 contém a condição de corte dos testes dos 16 experimentos. Para garantir melhores respostas aos dados avaliados, foi realizada uma réplica para cada um destes experimentos.

Para os testes de usinagem foi utilizado o torno CNC Modelo Multiplic Centur 35D, fabricante Romi. Utilizou-se pastilhas de metal duro, com revestimento CVD Ti(CN)+Al₂O₃+TiN, com raio de ponta de 0,8 mm, fabricadas pela SANDVIK. As especificações das ferramentas e de suporte são VBMT 16 04 08-PM 4225 e a pastilha DNMG 15 06 08-PM 4225 (Sandvik Coromant, 2019).

Neste trabalho foi utilizado fluido de corte de base mineral da fabricante Blaser Swisslub, modelo B-Cool 655, do tipo emulsão na forma de jorro. Outros testes também foram realizados na condição a seco.

Tabela 2. Planejamento e distribuição experimental

Experimento	vc [m/min]	f [mm/volta]	ap [mm]	Fluido de corte
1	200	0,1	0,5	0
2	200	0,1	1,5	0
3	200	0,2	0,5	0
4	200	0,2	1,5	0
5	100	0,1	0,5	0
6	100	0,1	1,5	0
7	100	0,2	0,5	0
8	100	0,2	1,5	0
9	200	0,1	0,5	1
10	200	0,1	1,5	1
11	200	0,2	0,5	1
12	200	0,2	1,5	1
13	100	0,1	0,5	1
14	100	0,1	1,5	1
15	100	0,2	0,5	1
16	100	0,2	1,5	1

Após cada teste de usinagem, o que representava um passe ao longo do eixo longitudinal da barra, ou seja, um percurso de avanço de 200 mm, mediu-se a rugosidade da peça em nove pontos equidistantes entre si, para obter a maior quantidade de dados possíveis e assim obter uma média entre elas, o que seguramente enriqueceu nas análises estatísticas. As medições foram feitas em um rugosímetro e coletadas em três regiões da barra, sendo uma próxima à região da contra ponta do torno, outra no centro da barra e a última próxima à região da barra que estava presa à castanha do torno. Essas medições foram feitas por meio de um rugosímetro portátil da marca *Taylor Hobson* modelo Surtronic 25 com raio de apalpador de 5 μm . Este equipamento foi configurado com um *cut-off* de 0,8 μm e 2,5 μm , de acordo com a rugosidade média encontrada, que é o recomendado pela Norma ISO 4288 -1996.

Concomitantemente a cada teste de usinagem, coletou-se os cavacos formados para as medições de sua espessura e análises do grau de recalque. Com o auxílio de um paquímetro quadrimensional digital da marca Digimess, para medidas até 6 polegadas e resolução de 0,02mm, mediu-se a espessura de cada um deles para então calcular o grau de recalque de cada experimento, com o auxílio da Eq. (1). Admitiu-se como valor da espessura de corte igual ao comprimento do avanço.

Para a realizar as análises estatística deste trabalho utilizou-se o *software* MINITAB®, e fez-se então um estudo sobre a influência dos parâmetros de corte sobre a rugosidade e priorizou-se o parâmetro (Ra). Logo, realizou-se um estudo da análise de variância, que consiste em determinar qual parâmetro apresenta ~~tem~~ uma maior influência na variável de saída escolhida através do *p-value*. A partir de um nível de confiança de 95%, ou seja, para valores encontrados de *p-value* menores que 0,05 assume-se que a variável de controle em questão é significativa na resposta. Quanto menores forem estes valores, maior a influência do parâmetro na variável resposta.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após feitas todas as medições de rugosidade, totalizando em nove medições para cada passe e mais outras nove medições para a réplica de cada condição experimental e medições da espessura do cavaco, fez-se então uma média das medidas e chegou-se aos valores médios de rugosidade Ra, Rt e Rz, como também os valores do grau de recalque (Rc), mostrado na Tabela 3.

Como pode ser observado na Tabela 3, o experimento 4 foi o que apresentou a maior rugosidade, neste experimento foi utilizado uma velocidade de corte de 200 m/min, profundidade de corte de 1,5 mm e um avanço de 0,2 mm/volta. Este valor é um resultado esperado, pois de acordo com Machado et. al. (2009), o avanço é o parâmetro de corte que mais influência no acabamento superficial da peça, e neste experimento, apesar ainda de ter sido realizado com uma relativamente velocidade de corte elevada, o valor do parâmetro de avanço da ferramenta também foi de certa forma também elevado. Porém, este foram especificados conforme o fabricante das ferramentas. Espera-se que a velocidade de corte quando aumentada tende a diminuir o valor da rugosidade de superfícies usinadas, no entanto, o aumento deste parâmetro aliado a uma elevada profundidade de corte, pode ter originado vibrações na peça, resultando em prejuízos ao acabamento da superfície usinada, gerando assim elevados valores de rugosidade média. De acordo com Colaco e Medeiros (2014), após o ponto ótimo de velocidade de corte, se esta continuar aumentando, os valores de rugosidade oscilam em função da resposta que o sistema máquina-ferramenta terá em função da vibração, podendo então originar elevados valores da rugosidade.

Tabela 3. Resultados obtidos para Ra, Rz e Rt e valores de h' e grau de recalque.

Experimento	Ra [μm]	Rz [μm]	Rt [μm]	h' [mm]	Rc
1	1,55	6,62	7,89	0,17	1,71
2	1,90	8,23	9,61	0,25	2,52
3	2,36	10,08	11,26	0,33	1,63
4	3,08	12,77	13,55	0,41	2,07
5	1,03	5,34	6,03	0,18	1,84
6	1,27	6,12	8,46	0,25	2,52
7	2,33	10,14	10,63	0,35	1,75
8	2,71	11,87	12,72	0,41	2,03
9	1,02	5,49	6,13	0,18	1,80
10	1,69	7,04	7,81	0,24	2,43
11	2,21	9,53	10,15	0,33	1,63
12	2,86	11,53	12,01	0,39	1,97
13	0,92	4,91	5,55	0,21	2,11
14	1,11	5,42	6,32	0,26	2,57
15	2,07	8,64	9,27	0,32	1,62
16	2,55	11,01	11,76	0,42	2,08

Observou-se também, por meios dos dados obtidos, que, com o aumento da profundidade de corte, foi verificado um aumento nos valores dos parâmetros de rugosidade. A ausência do fluido de corte, ainda na condição do experimento 4, pode ter contribuído para uma possível elevação da temperatura na região de contato cavaco-ferramenta, o possa ter provocado um aumento da rugosidade, consequência do aquecimento excessivo, o que de certa forma tenha prejudicado o acabamento superficial da peça. Este fato pode ser observado no trabalho de Colaco e Medeiros (2014), no qual eles analisaram a influência nos parâmetros de corte na rugosidade de um aço no torneamento a seco e com fluido, constatando que na ausência de fluido, há mais danos à integridade superficial da peça usinada. Esses dados podem ser melhor observados na Fig. 1 que nos mostra a variação do Ra em função do avanço.

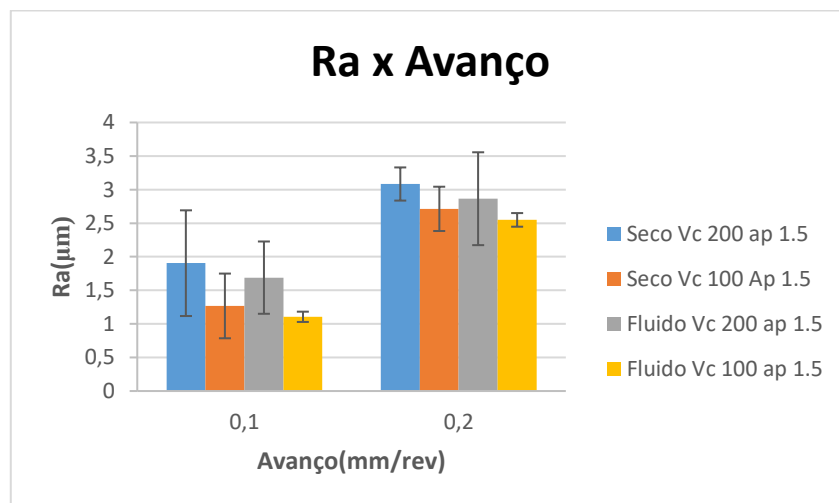


Figura 1. Valores de Ra pelo avanço.

Dias *et. al.* (2012), apontam também que possíveis aumento nos valores da rugosidade podem estar associado ao aumento do avanço, pois a distância entre os picos e vales produzidos na superfície da peça também aumenta, sendo assim os valores de rugosidade também aumentam. Em seu trabalho, em busca de encontrar os melhores parâmetros de corte na usinagem do aço inoxidável 304, os autores realizaram uma série de testes variando a velocidade de corte e o avanço, concluindo por fim que o avanço é o maior responsável pelo aumento dos valores de rugosidade média (Ra) na superfície usinada.

Analisando os dados obtidos, é possível observar ainda que o fluido de corte utilizado nos experimentos tende a diminuir os valores de rugosidade, quando comparados com os valores dos experimentos feitos à seco. De acordo com Ávila *et. al.* (2004), o uso de fluido de corte nos processos de usinagem melhora sua eficiência, aumentando o controle de tolerâncias dimensionais, melhorando o acabamento superficial da peça usinada e também reduzindo as forças de usinagem.

Como pode ser observado na Figura 1, a barra de dispersão de alguns testes, como o da primeira barra que representa velocidade de corte de 200m/min, profundidade de corte de 1,5mm, avanço de 0,1mm/volta e sem fluido, apresenta um

valor elevado. Isso pode ter sido causado pelo fato de ter sido feito várias coletas ao longo do corpo de prova, gerando algumas variações nos valores encontrados de acordo com o ponto que foi medido na peça.

Dada a dificuldade de planejar e também manipular dados que medem a relação entre variáveis independentes, o planejamento de experimentos tem sido amplamente aplicado no meio acadêmico (Köche, 2012). Sendo assim, para validar esses resultados, fez um estudo estatístico para os valores encontrados de R_a e como é influenciada pelos parâmetros de corte. Os valores obtidos na Tabela 4, na Equação 2 e na Figura 2 foram obtidos através de análises geradas pelo software MINITAB.

Os dados obtidos e apresentados na Tabela 4 é preciso saber que o coeficiente de um termo representa as alterações que a variação deste termo influencia na resposta enquanto os outros termos permanecem constantes. Ainda, que, o erro padrão do coeficiente indique a precisão da estimativa e que quanto menor seu valor, mais precisa ela é. Dividindo o coeficiente pelo erro padrão obtém-se o Valor-T, que utilizado pelo software para calcular o Valor-P, que é o valor utilizado na comparação com nível de significância, sendo que se o Valor-P for menor que o nível de significância, é dito que a associação é estatisticamente significativa.

Analisando a Tabela 4, pode-se observar que se o valor-p for menor ou igual ao nível de significância, é possível concluir que há uma associação estatisticamente significativa entre a variável de resposta e o termo. Essa conclusão consiste em aceitar ou rejeitar alguma hipótese estatística com base nos elementos amostrais, sendo H_0 a hipótese nula e H_1 a hipótese alternativa (Fonseca e Martins, 2011). O nível de significância utilizado foi de 95%. Este valor é comumente utilizado em análises estatísticas em testes de usinagem, como é possível observar no trabalho de Nascimento *et. al.* (2019), na avaliação dos valores de rugosidade média no torneamento de um aço inoxidável. Sendo assim, pode-se concluir que tanto a velocidade de corte quanto profundidade de corte, avanço e fluido, influenciam de maneira significativa na rugosidade média.

Tabela 4. Análise de variância para rugosidade média

Termo	Coef	EP de Coef	Valor-T	Valor-P
Constante	1,9564	0,0446	43,91	0
vc	0,1283	0,0446	2,88	0,035
f	0,5664	0,0446	12,71	0
ap	0,2702	0,0446	6,07	0,002
Fluido	0,1539	0,0446	3,45	0,018
vc*f	-0,0209	0,0446	-0,47	0,659
vc*ap	0,0303	0,0446	0,68	0,527
vc*Fluido	-0,0136	0,0446	-0,31	0,772
f*ap	0,0094	0,0446	0,21	0,841
f*Fluido	-0,0533	0,0446	-1,2	0,285
ap*Fluido	0,0208	0,0446	0,47	0,66

Aliado a esses dados, também encontrou-se a equação de regressão que representa a rugosidade média e os parâmetros que a influenciam, mostrada pela Equação (2). Através da Equação 2 é possível prever o valor da rugosidade média ao substituir as variáveis nela mostrada com valores que estejam dentro dos utilizados neste trabalho.

$$Ra = -0,618 + 0,00261 vc + 12,20 f + 0,302 ap + 0,313 Fluido - 0,0083 vc*f + 0,00121 vc*ap - 0,000273 vc*Fluido + 0,38 f*ap - 1,066 f*Fluido + 0,0416 ap*Fluido \quad \text{Equação (2)}$$

Com a finalidade de analisar o impacto de cada variável no processo e suas interações com a rugosidade média, utilizou-se o gráfico de pareto, mostrado na Figura 2. Para analisar pressupõem-se que as barras que ultrapassam a linha de referência são os parâmetros significativos. Pode-se observar então que como esperado, o avanço é o parâmetro que mais influência na rugosidade média, seguido da profundidade de corte, fluido e por último, velocidade de corte.

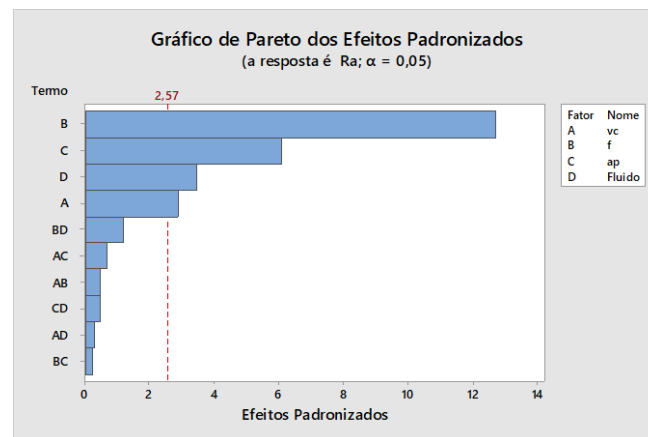


Figura 2. Gráfico de Pareto para variável de saída Ra.

Como é possível observar na Fig 3, os valores de rugosidade seguem uma tendência para Ra, Rt e Rz, de acordo com os parâmetros de corte variados. Ainda pode-se afirmar que, para os experimentos feitos neste trabalho, o fluido de corte exerceu influência sobre os resultados obtidos, melhorando a rugosidade, porém não se demonstra tão significativa quanto a variação das outras variáveis em questão (v_c , a_p e f). Resultados semelhantes foram encontrados também por Bonandi (2012) e Avila *et. al.* (2004), os quais mostraram que quando há aumento dos valores de avanço, os resultados de rugosidade tendem a aumentar consideravelmente. Estes autores apontam que o motivo para tal comportamento foi o fato de o aumento no avanço proporcionar um aumento nas marcas de avanço na peça e que as superfícies geradas a partir desse aumento, têm maior espaçamento entre os picos e vales do perfil da rugosidade, o que faz com que os valores de rugosidade sejam mais altos.

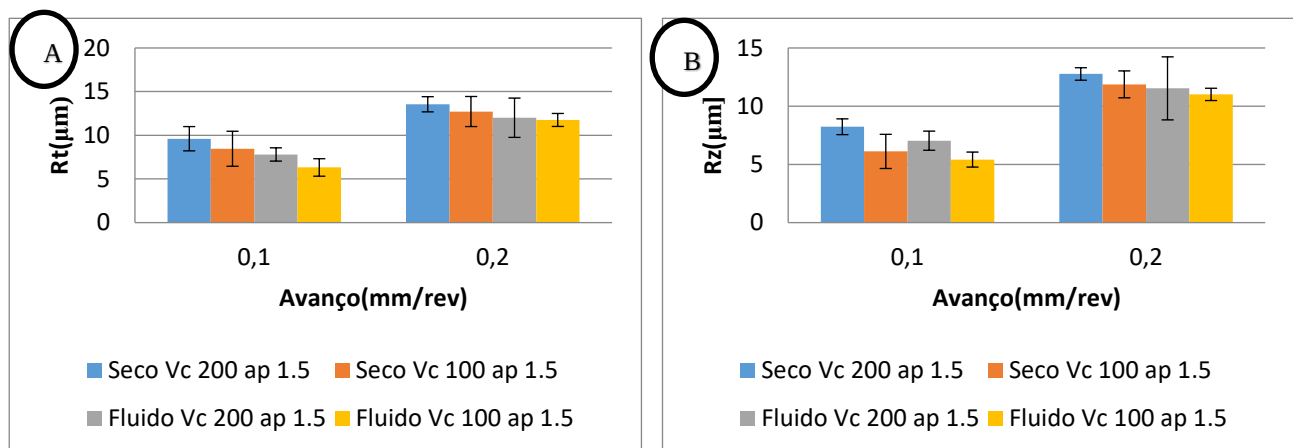


Figura 3. A) Valores de Rt em função do avanço para as respectivas condições. B) Valores de Rz em função avanço para as respectivas condições.

Através da Equação 1 foi possível calcular o Grau de Recalque (Rc), na qual o valor de h foi aproximado para o valor do comprimento do percurso de avanço de cada experimento, conforme relatado anteriormente.

É possível observar que quando os valores de avanço aumentam, o grau de recalque diminui, isso pode ser visualizado na Figura 4-A. O que também foi observado por Novaes e Souza (2009). Estes autores apontam que o aumento do avanço faz com que o ângulo de cisalhamento aumente, ou seja, a porção de material retirada, determinada também pela espessura de corte, sofre uma menor deformação na zona de cisalhamento primária o que geometricamente representa o aumento da espessura do cavaco. Pode-se afirmar também que a velocidade de corte não provocou influência significativa nos valores do grau de recalque, pois os valores obtidos se mantiveram bem próximos. Para Silva (2007), isso ocorre devido ao fato de usar altas velocidades de corte, como as usadas neste trabalho, fazendo com que as forças de usinagem se mantenham praticamente constantes com o aumento da velocidade de corte, o que poderia explicar os valores de espessura dos cavacos produzidos não terem sofrido grandes variações.

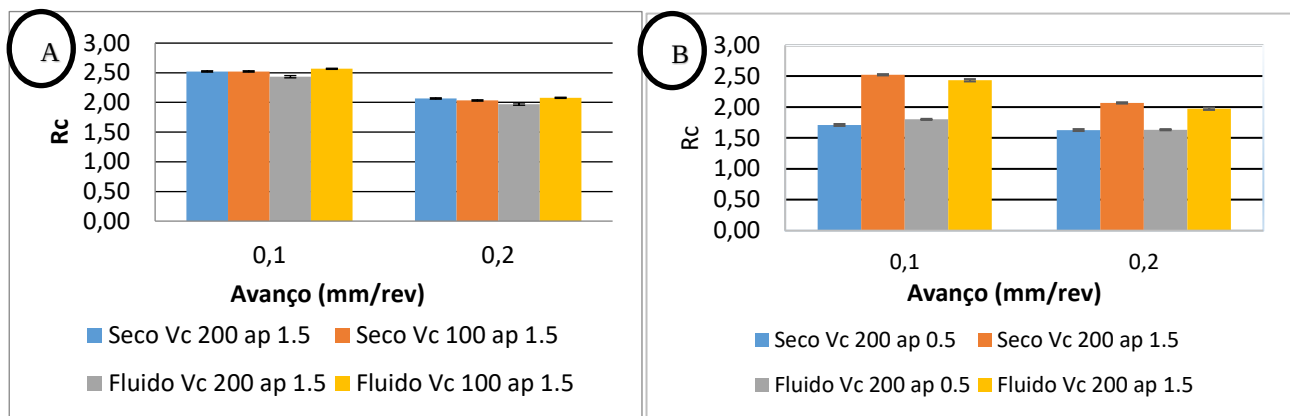


Figura 4. A) Valores de Rc em função do avanço para profundidade de corte igual à 1,5 mm. B) Valores de Rc em função do avanço para velocidade de corte igual à 200 m/min.

Contudo, quando é analisado a figura 4-B, é possível notar que, a variação nos valores da profundidade de corte apresenta uma variação nos valores do grau de recalque mais significativa. Sendo que, quando o valor da profundidade de corte os valores de grau de recalque também aumentaram. Isso possivelmente ocorreu devido ao aumento da força de corte que com a elevação da profundidade de corte fazendo com que ocorra maior encruamento na região de corte, e com isso haverá um aumento da espessura do cavaco após a usinagem (Emerick *et. al.*, 2018).

Nos resultados encontrados por Almeida *et. al.* (2017) e Emerick *et. al.* (2018), o avanço é inversamente proporcional ao grau de recalque e a profundidade de corte é diretamente proporcional, ou seja, quando há aumento na profundidade também há aumento no grau de recalque. Estes autores justificam que, isto é proveniente do fato de que embora o aumento do avanço faça com que as forças de corte aumentem, o que faria aumentar o encruamento do material na região de corte e assim elevar o valor da espessura do cavaco após a usinagem, o grau de recalque, é inversamente proporcional ao avanço como mostra a Equação 1. Deste modo o efeito do avanço na redução do grau do recalque, é mais significativo do que o efeito da força de corte sobre o aumento da espessura do cavaco. Vale destacar ainda que o grau de recalque é um importante indicativo da usinabilidade das ligas metálicas, tendo como favoráveis valores mais próximos possíveis de 1,0 (um), o que de certa forma representa que mínimo foi o trabalho de deformação do cavaco na usinagem, consequentemente menor energia gasta para sua formação.

Finalmente, analisando por fim os impactos do fluido de corte no grau de recalque, é possível observar que não houve significativas variações nos resultados. A aplicação do fluido pode não ter sido eficiente para atenuar as elevadas temperaturas próximas à região de formação do cavaco, e desta forma alterar a energia gasta no trabalho de deformação do cavaco. Porém, a refrigeração proporcionada pelo fluido, pode reduzir possíveis avarias e desgastes no material da ferramenta causados por excesso de temperatura (Trent, 1991). Portanto, deve-se avaliar as técnicas e formas de aplicação de fluido de corte para a obtenção de resultados mais promissores durante a usinagem.

4. CONCLUSÃO

Os resultados apresentados neste trabalho, no qual usinou-se um aço austenítico ABNT 304 sob diversos parâmetros de corte, pode-se concluir que:

- A condição 13, apresentou, menores valores de Ra, Rz e Rt, onde a velocidade de corte foi de 100 m/min, avanço de 0,1 mm/rev e profundidade de corte de 0,5 mm, como mostrado pela tabela 3. Os respectivos valores foram Ra 0,92µm, Rz 4,91µm e Rt 5,55µm.
- As condições que apresentaram maiores valores de rugosidade, foram para condições mais severas de corte, respectivamente: velocidade de corte 200 m/min, avanço de 0,2mm/rev e profundidade de 1,5 mm.
- De acordo com a Figura 2, pela ANOVA, pode-se concluir que o avanço é a variável que mais influência para a rugosidade média.
- A velocidade de corte não foi uma variável que influenciou no grau de recalque do material. A profundidade de corte, mostrou grande influência para Rc, uma vez que com o aumento do material removido há um aumento direto da deformação do cavaco, fazendo com que grau de recalque se eleve. Figura 4.
- O planejamento de experimentos foi uma ferramenta valiosa para analisar e identificar a influência dos parâmetros de corte. A equação de regressão gerada pela Equação 2 permite prever valores de rugosidade média quando os parâmetros de entrada estiverem dentre os analisados neste experimento.

5. REFERÊNCIAS

- Almeida, C. L.; Freitas, T.C.; Filho, S. L. R.; Brandão, L. C.. 2017 “Análise do comportamento do cavaco no torneamento ortogonal com diferentes condições de resfriamento”. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, 9., 2017, Joinville, SC. Anais [...]. Joinville, SC: ABCM, 2017.
- Ávila, R. F. et al. 2004 “Influência do fluido de corte sobre a força de usinagem e o acabamento do aço inoxidável austenítico abnt 304”. In: VII Seminário Brasileiro do Aço Inoxidável, São Paulo - SP, p. 11. 2004.
- Bonandi, M. 2012 “Estudo das condições de corte no torneamento do aço AISI M4 endurecido, utilizando a metodologia de projeto de experimentos”. Dissertação de Mestrado. Universidade Nove de Julho, São Paulo, 2012.
- Colaco G. A. E De Medeiros I. D. M. 2014 “Análise da influência dos parâmetros de usinagem sobre a rugosidade no torneamento cilíndrico externo em corte a seco e com abundância de fluido de corte.” In: Encontro nacional de engenharia de produção, 34, 2014, Curitiba, PR. Anais [...]. Curitiba, 2014.
- Dias, A.; Alvares, J.; Melo, P.; Domingues, B.; Raymundo, E.; Ribeiro, R. 2012 “Análise de parâmetros de usinagem do aço inox austenítico abnt 304”. UniFOA, p. 29-36, 20 jun. 2012.
- Emerick, G. A.; Camargo, D. Z.; Cussuol, J. D.; Lima, M. A.; Júnior, M. C. S. 2019. “Influência dos parâmetros de corte e a geometria da ferramenta sobre potência, formação do cavaco e grau de recalque na usinagem de ligas de alumínio.” In: Congresso Nacional De Estudantes De Engenharia Mecânica, Brasília, DF. Anais ABCM, 2019.
- Ferraresi, D. 1969 “Fundamentos da Usinagem dos Metais”. São Carlos: Edgard Blucher LTDA, 1969.
- Fonseca, J. S.; Martins G. A. 2011. “Curso de estatística”. 6ª ed. Atlas S.A. São Paulo, 2011.
- Freitas T.C.; Teixeira, L. M.; Freitas, S. A.; Coelho, W. A.; Brandão, L. C. 2017 “Análise de rugosidade e esforços no corte ortogonal do aço 304L com diferentes sistemas de lubrificação.” In: Congresso Brasileiro De Engenharia De Fabricação, Joinville, SC. Anais ABCM, 2017.
- Freitas T.C.; Teixeira, L. M.; Freitas, S. A.; Coelho, W. A.; Brandão, L. C.. 2017 “ Monitoramento da rugosidade no torneamento do aço SAE 52100 utilizando superfície de resposta.” In: Congresso Brasileiro De Engenharia De Fabricação, Joinville, SC. Anais ABCM, 2017.
- Köche, J. C.. 2012 “Fundamentos de metodologia científica: teoria da ciência e iniciação à pesquisa”. 30ª ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2012.
- Machado, A.; Abrão, A.; Coelho, R.; Da Silva, M.; Ruffino, R.. 2009 “Teoria da Usinagem dos Materiais”. 1ª. ed. São Paulo: Edgard Blucher LTDA, 2009. ISBN 978-85-212-0452-7.
- Mello A. O.; Lauro, C. H.; Brandão, L. C. 2017. “Modelagem estatística da rugosidade de peças de liga de titânio Ti-6Al-7Nb e Ti-6Al-4V”. In: Congresso Brasileiro De Engenharia De Fabricação, 9., 2017, Joinville, SC. Anais ABCM, 2017.
- Nascimento C. F.; Oliveira, C. H.; Vieira, F. F. S.; Frederico, P.; Brito, T. G.; Paiva, E. J. 2019. “Análise de rugosidade Ra no torneamento do aço inoxidável super duplex UNS S32750 utilizando planejamento de experimentos”. In: Congresso Brasileiro De Engenharia De Fabricação, São Carlos, SP. Anais ABCM, 2019.
- Novaes, F. B.; Souza, R. A. 2009. “Análise da formação do cavaco no torneamento do alumínio utilizando câmera de alta velocidade”. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) -- Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 2009.
- Sandvik Coromant. 2019. DNMG 15 06 08-PM 4225. <<https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/products/pages/productdetails.aspx?c=dnmg%2015%2006%2008-pm%204225>> , acesso em: 15 nov. 2019.
- Silva A. L. V. C. E Mei P.R. 2010. “Aços e ligas especiais”. 3ª edição. São Paulo: Edgard Blucher LTDA, 2010.
- Silva, F. C. S.. 2007. “Diagnóstico do processo de torneamento do aço inoxidável ABNT 304 a partir do estudo da formação do cavaco”. Universidade Federal de Uberlândia, 2007.
- Trent, E. M. 1991. “Metal cutting”. 3th edition, 273 f., Boston, USA, Butterworths, 1991

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

Analysis of the influence of cutting parameters on surface roughness and the degree of repression when machining ABNT 304 austenitic stainless steel

Denis Ferreira da Silva
Augusto Carneiro e Caixeta
Raphael Silva Lins
Vigílio Pires Teixeira
Luciano Fernandes
Vitor Tomaz Guimarães Naves

Federal University of Triângulo Mineiro, Technological and Exact Sciences Institute, Mechanical Engineering Department, 2856, Randolpho Borges Junior Avenue, Uberaba – Minas Gerais
denis_ferreira00@hotmail.com
augustocarneiro.edu@gmail.com
raphael.lins@gmail.com
d201810859@uftm.edu.br
luciano.fernandes@uftm.edu.br
vitor.naves@uftm.edu.br

Abstract. *Stainless steels currently represent a significant portion of the materials subjected to machining operations, being often applied in the automotive, petrochemical, sugar and alcohol, dairy, aeronautical, railway, naval, hospital and other applications. Austenitic stainless steel of type ABNT 304 is widely used in the metal-mechanical industry due to its high resistance to corrosion, high toughness and good weldability, in addition to being a common alloy between stainless steels. However, they tend to have low machinability, with the formation of long and tangled chips, in continuous cuts, which are detrimental to the process of surface finishing of the material and detrimental to the life of the cutting tool. This is due to the fact that these materials have low thermal conductivity and the high capacity for hardening due to deformation, in addition to being able to form false cutting edges, which is a phenomenon that can aggravate the integrity of the cutting edge and impair the finish of the machined surfaces. . This work aims to characterize the influence of the cutting parameters, cutting speed (vc), feed (f) and depth of cut (ap) and also varied the lubrication-cooling system, where the tests were carried out at dry and with application of cutting fluid in the form of a spout in abundance. The main roughness parameters (Ra, Rz and Rt) were evaluated in addition to the degree of chip repression. Through a complete 2k factorial design, the machining tests were performed on the external cylindrical turning of an ABNT type 304 austenitic stainless steel. Based on the results, Analysis of Variance (ANOVA) was performed to compare the machining conditions evaluated. Carbide inserts manufactured by the SANDVIK company were used coated with Ti (CN) + Al₂O₃ + TiN by the physical vapor deposition (POS) method. The results showed that the surface roughness and the degree of repression were influenced by the evaluated conditions, with lower values of roughness in general being obtained in the conditions of lower advance and cutting speed, combined with the application of cutting fluid in the form of a spout. As for the degree of repression, the results were more promising in the high cutting speed and dry machined values.*

Keywords: Surface Roughness, stainless steel, degree of repression, turning process, analysis of variance.

RESPONSIBILITY NOTICE

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