

ANÁLISE DA RUGOSIDADE E ESFORÇOS NO CORTE ORTOGONAL DO AÇO 304L COM DIFERENTES SISTEMAS DE LUBRIFRIGERAÇÃO

Samuel Alves de Freitas, samuelengmec@gmail.com¹
Lincoln Cardoso Brandão, lincoln@ufs.br¹
Thiago Castro Freitas, thiagocastrofreitas@hotmail.com¹
Wasley Amaral Coelho, wasleyamaral@hotmail.com¹
Lincoln Maia Teixeira, lincoln_ufs2009@hotmail.com¹
Sandro Pereira da Silva, sandro.silva@deg.ufla.br²

¹Universidade Federal de São João Del Rei, Praça Frei Orlando, 170, Centro, São João Del Rei, Minas Gerais, CEP 36307-352.

²Universidade Federal de Lavras, Av. Doutor Sylvio Menicucci, 1001, Kennedy, Lavras, CEP MG, 37200-000.

Resumo: Um dos processos mais flexíveis de usinagem é o torneamento sendo amplamente utilizado dentro dos processos de manufatura. O aço inox apresenta propriedades físicas e químicas relevantes quando comparadas ao aço carbono, pode-se citar como principais; a alta resistência mecânica e a excelente resposta para trabalho em ambientes corrosivos. Essas características tornam o aço inox atrativas para a aplicação industrial. A definição dos parâmetros de usinagem tem como objetivo atender as solicitações físico/mecânicas no aço inox e também uma boa produtividade do mesmo. Este trabalho avaliou o torneamento do aço inox 304L utilizando os sistemas de refrigeração, Mínima Quantidade de Lubrificação (MQL) e ar frio, sendo comparados com a usinagem a seco. Utilizou-se ferramentas de metal duro com revestimento e os parâmetros de corte foram definidos de acordo com o fabricante das ferramentas. O objetivo foi investigar a influência dos sistemas de refrigeração e dos parâmetros de corte sobre as respostas, rugosidade e forças de usinagem. Os resultados mostram que esforços de corte não foram influenciados pelos sistemas de resfriamento. Entretanto, o raio de ponta da ferramenta foi o fator de maior impacto na qualidade superficial, reduzindo a rugosidade de forma significativa, quando usados os maiores raios de ponta. Além disso, o sistema de refrigeração com o sistema de ar frio foi mais eficiente na melhoria do acabamento superficial que o sistema de MQL.

Palavras-chave: Rugosidade, Mínima Quantidade de Lubrificação, Ar frio, Esforço de Corte.

1. INTRODUÇÃO

O aço inox é amplamente aplicado em componentes aeroespaciais como buchas, eixos válvulas, parafusos especiais e em componentes expostos a ambientes químicos. Também uma importante aplicação é na industrial alimentícia e farmacêutica com aplicação em talheres, pias e produtos lácteos. A combinação atrativa entre a resistência mecânica e uma estética agradável fez do aço inox uma boa escolha para aplicação em componentes críticos desde a tubulação de reatores nucleares ao uso doméstico. Vários trabalhos Krolczyk; Nieslony; Legutko, (2015); Mahdavinejad; Saeedy, (2011); Selvaraj; Chandramohan, (2010); Xavier; Adithan, (2009), mostram que o aço inox é considerado de difícil usinabilidade, baixa condutividade térmica, alta dureza, tendência a formação de aresta postiça de corte e uma alta deformação por endurecimento. Além disso, o desgaste irregular da ferramenta ocorre frequentemente nas operações de usinagem do mesmo. Por isso, atentando pelo viés da vida de ferramenta os parâmetros de corte são importantes fatores na usinagem do aço inox.

Na usinagem parte da energia gasta para retirada do material da peça de trabalho é perdida na forma de calor e o material removido é o cavaco. De acordo com Shokrani; Dhokia; Newman, (2012), a formação do cavaco é categorizada dentro de duas zonas, nomeada zona primária e secundária de cisalhamento. Na zona primária de cisalhamento o material está sendo cortado pela deformação elástico-plástica e parte da energia usada para o corte nessa seção é transformada em calor. Em seu trabalho Xavier; Adithan, (2009) observaram que a zona secundária de cisalhamento produz o escorregamento do cavaco na face de saída da ferramenta e devido ao atrito do cavaco com a superfície de saída da ferramenta é gerado calor excessivo na região de corte. Contudo é conhecido que, quanto maior a temperatura de trabalho da ferramenta, maior é o seu desgaste, comprometendo as tolerâncias da peça trabalhada, bem como sua rugosidade.

Özel; Hsu; Zeren, (2005) mostraram que o avanço é o parâmetro dominante na rugosidade, também no trabalho Noordin et al., (2001) notaram que menores valores de avanço produzem um melhor acabamento, também Korkut et al., (2004) investigaram o torneamento do aço inox 304L e a influência da velocidade de corte, variando entre 120, 150 e 180m/min na vida de ferramenta e observou que o aumento da velocidade de corte para 180m/min reduz a rugosidade e a taxa de desgaste da ferramenta. O trabalho no desenvolvido por Nalbant; Yildiz, (2011); Noordin et al., (2001) foi possível notar que devido à baixa concentração de carbono no aço inox ele apresenta ductilidade e para aços baixo

carbono o uso de baixas velocidades de corte favorecem a formação de arestas postiças, comprometendo o acabamento e a vida de ferramenta. Ainda Mahdavienejad; Saeedy, (2011) encontraram que a aresta postiça de corte quando despreendida da ferramenta leva consigo um fragmento da ferramenta, particularmente quando se utiliza ferramentas cementadas por carbetto. No entanto no trabalho de Debnath; Reddy; Yi, (2014) notaram que o uso de lubrificação auxilia na remoção do cavaco e previne a ocorrência de aresta postiça de corte.

Mata e Davim, (2008) apontaram que uma boa superfície não é apenas desejo estético do produto, mas também melhoram as propriedades mecânicas do material, como a resistência a fadiga e à corrosão. O autor definiu a rugosidade como um parâmetro dependente da velocidade de corte e do avanço. Reduzindo a rugosidade com o aumento da velocidade de corte combinado com o menor avanço. A velocidade de corte avaliada variou de 71 m/min a 283 m/min e o avanço 0,1 mm/rot a 0,25 mm/rot. O trabalho elaborado por Mahdavienejad; Saeedy, (2011) avaliou a vida de ferramentas e a superfície de acordo com os parâmetros com e sem fluido de corte, encontrando melhores respostas da rugosidade e esforços de corte para a velocidade de 175m/min e avanço de 0,2 mm/rot com a utilização de fluidos de corte.

Kaladhar; Subbaiah; Rao, (2011) apresentaram a investigação dos efeitos da cementação das ferramentas e determinou níveis dos processos para uma otimização da qualidade da superfície do aço inox 304, aplicando o arranjo ortogonal Taguchi para analisar os efeitos dos parâmetros na rugosidade e a Análise de Variância (ANOVA) para avaliar a influência dos parâmetros no processo. Os autores encontraram maior influência para o raio de ponta na rugosidade para o tipo de deposição conhecida como Deposição Física de Vapor (PVD) e para o tipo conhecido como Deposição Química em Vapor (CVD) e para a velocidade de corte como o parâmetro de maior influência no acabamento.

Hamdan; Sarhan; Hamdi, (2012) observaram que a Usinagem de Alta Velocidade combinada com a utilização de ferramentas cementadas apresentaram maior eficiência no corte, apresentando também uma menor rugosidade. Neste trabalho notou-se que altas velocidades de corte e um baixo avanço produziram uma melhor superfície e isso foi atribuído principalmente as altas temperaturas empregadas no processo, cujo controle prioriza uma melhor resposta da rugosidade. Por isso, faz-se importante avaliar os tipos de fluidos de corte, observando também um fator primordial para a usinagem que é a preocupação com o meio ambiente e a saúde do operador. Os resultados deste trabalho mostraram que o avanço é o fator primordial para a melhoria da rugosidade, seguido da velocidade de corte. Já os sistemas de refrigeração, fluido e Mínima Quantidade de Lubrificação (MQL) e a usinagem a seco, foram estatisticamente insignificantes para a rugosidade. O uso da MQL melhora o desempenho do processo de torneamento.

Debnath; Reddy; Yi, (2014) apresentaram a aplicação de técnicas de corte a seco, MQL e criogenia, afim de obter melhores resultados buscando reduzir os problemas ecológicos causados pelos fluidos minerais, que representa cerca de 85% de todos os fluidos utilizado ao redor do mundo. O uso de fluidos de corte tem sido largamente questionado, sugerindo o método de manufatura verde como sendo seguro e saudável e que parte dos problemas vinculados a utilização dos fluidos podem ser resolvidos pela aplicação dos métodos sustentáveis como fluidos de corte com base vegetal, corte a seco, MQL e criogenia. Entretanto, o corte a seco é o processo mais sustentável e o fluido de base vegetal apresenta baixa proteção a corrosão e condutividade térmica.

Zhang; Li; Wang, (2012) identificaram que os fluidos a base de óleo mineral são perigosos quando estocados e descartados, requerendo de um tratamento físico e químico especial por uma agência de proteção ambiental para remoção dos componentes tóxicos do mesmo. Seus resultados com o uso de mínima quantidade de lubrificante gelado (MQCL) com óleo biodegradável de base vegetal pode efetivamente melhorar as condições de usinagem do Inconel 718, estendendo a vida de ferramenta e reduzindo os esforços de corte. Pelo ponto de vista do meio ambiente o uso de MQCL com óleos biodegradáveis com base vegetal poderá aumentar a demanda pela manufatura mais ecológica do Inconel 718.

Ozcelik et al., (2011) alertaram sobre o uso dos fluidos convencionais como sendo perigosos e pouco degradáveis, além de causar sérios problemas de saúde como câncer, problemas respiratórios e alergias. Seus resultados indicaram que 8% de extrema pressão aplicada ao óleo a base de canola mostrou um melhor desempenho do que os óleos semissintéticos e de base mineral avaliados. No trabalho desenvolvido por Shokrani; Dhokia; Newman, (2012) foi estimado ou que os custos envolvendo fluidos, incluindo a compra, preparação, manutenção e descarte são cerca de 16% do custo total de produção na usinagem. O preço do descarte pode chegar ao dobro do custo, devido ao fato de que os fluidos não são biodegradáveis e requerem um caro tratamento para o descarte adequado.

Çakir; Kiyak; Altan, (2004) examinaram os efeitos dos fluidos de corte (5% de fluido emulsivo), corte a seco e a aplicação de 3 gases (Dióxido de Carbono, Oxigênio e Nitrogênio) na força de corte e rugosidade. Os autores encontraram que a aplicação dos gases produziu menores esforços de corte comparado ao corte a seco que apresentou os maiores resultados com fluido, para os valores da rugosidade não foram encontrados influencias notável. Sharma; Dogra; Suri, (2009) apresentaram uma visão geral sobre as mais avançadas técnicas de MQL, corte a seco, liquido refrigerante a alta pressão, refrigeração por criogenia, ar comprimido e lubrificantes/refrigerantes sólidos. Reportando que o ar comprimido como refrigerante melhora a rugosidade quando comparado com a usinagem a seco para altas velocidades de corte, além de promover uma relação amigável com o meio ambiente.

Yalçin; Ozgur; Koru, (2009) observaram que o ar comprimido pode ser usado no fresamento de materiais dúcteis garantindo bom acabamento e gerando menor desgaste de ferramentas. O ar comprimido apresentou melhores

resultados que o processo a seco e piores resultados quando utilizado fluido refrigerante. Su et al., (2007) avaliaram que o uso de ar comprimido e ar frio com mínima quantidade de lubrificação (CAMQL) no torneamento do Inconel 718 com velocidade de corte de 78m/min, encontrando taxas de 78% e 124%, respectivamente, no aumento da vida de ferramenta.

O objetivo deste estudo é avaliar a resposta da rugosidade aos esforços de corte de acordo com os níveis aplicados ao processo e a eficiência dos sistemas de refrigeração ecológicos como o ar frio e o corte a seco. Dessa forma, será possível comparar os resultados dos estudos anteriores de usinagem com o torneamento do aço SAE 340L.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados corpos de prova de prova do Aço Inox 304L no formato cilíndrico com diâmetro de 600mm. Os ensaios de torneamento foram realizados no Laboratório de Fabricação do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de São João Del Rei. Foi utilizado um centro de torneamento GL240M com 6.000 rpm e 22,5kW de potência principal. As ferramentas triangulares TNMG-08MF, com cobertura TiAl com quebra cavaco do tipo M e, também o suporte MTJNR 2020 K16 foram fornecidos pela SANDVIK e o aço 304L pela Arcelor Mital. A Figura (1) mostra a preparação para o torneamento com ar frio que assim como o bico de MQL foram instalados para projetar o ar/fluido na interface de saída ferramenta e a peça, a vazão utilizada para o MQL foi de 30 ml/h, para o fluido foi utilizado a emulsão do Plantocut 40SB.

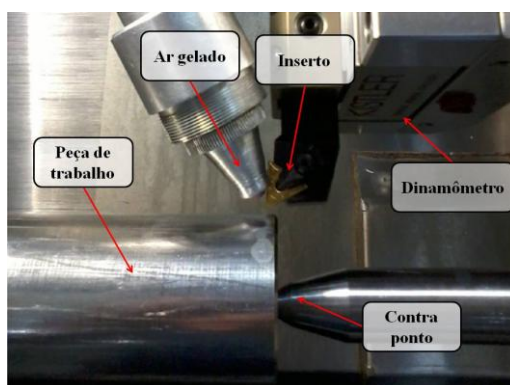


Figura 1. Montagem dos experimentos para torneamento com o sistema de ar frio. (Fonte: autoria própria).

Para o corte ortogonal foi levado em consideração que a aresta de corte está perpendicular ao movimento principal de corte, onde afastou o raio de ponta e o corte foi realizado pela lateral da pastilha, os esforços foram medidos utilizando um Dinamômetro Kistler modelo 9229-A acoplado ao amplificador de sinais também da marca Kistler modelo 5070-A.

2.1. Planejamento de Experimentos

O planejamento dos experimentos foi realizado utilizando a técnica de *Design* de Experimentos (DOE), com um fatorial completo, verificando estatisticamente as variáveis que realmente influenciam na usabilidade do material. Foi utilizado um software de análise estatística para obter os valores de P-valor, para cada parâmetro e seus respectivos gráficos de efeito.

2.2. Rugosidade

A Rugosidade é um dos fatores mais importantes a serem avaliados no processo de usinagem, sendo seus parâmetros associados à vida de ferramenta e as tolerâncias da peça trabalhada. As variáveis de entrada do processo foram a velocidade de corte, avanço, fluidos de corte e raios de ponta da ferramenta. Sendo apresentados na Tab. 1 com os respectivos níveis.

Tabela 1. Parâmetros de entrada com seus respectivos níveis para rugosidade.

Parâmetros de entrada	Níveis		
	-1	0	+1
Velocidade de Corte (m/min)	215	-	290
Avanço (mm/rot)	0,15	-	0,3

Raio de Ponta (mm)	0,4	0,8	1,2
Sistema de refrigeração	Ar frio	Fluido	MQL

De acordo com o catálogo do fornecedor das ferramentas, para os insertos com raios de ponta de 0,4, 0,8, e 1,2mm, adotou-se os valores para o avanço de 0,15 e 0,3mm/rot, com velocidades de corte 215 e 290 mm/min. Utilizaram-se os sistemas de Ar frio, Fluido e Mínima Quantidade de Lubrificação. Os dados da rugosidade foram coletados através do rugosímetro marca Mitutoyo modelo SJ-401, com valor de *cut-off* de 0,8 mm e comprimento de amostragem de 4 mm, sendo avaliados os valores da Rugosidade (Ra) e Rugosidade (Rz), com duas repetições.

2.3. Esforços de Corte

A seguir na Tab. 2 é apresentado os valores dos parâmetros utilizados nos experimentos do corte ortogonal. Os esforços no corte ortogonal foram medidos utilizando um Dinamômetro Kistler modelo 9229-A acoplado a um amplificador de sinais da mesma empresa modelo 5070-A.

Tabela 2. Parâmetros de entrada e seus respectivos níveis para os esforços de corte.

Parâmetros de entrada	Níveis		
	-1	0	+1
Velocidade de Corte (m/min)	215	-	290
Avanço (mm/rot)	0,15	-	0,3
Sistema de refrigeração	Ar frio	Seco	MQL

3. RESULTADOS

Os resultados encontrados durante os experimentos foram analisados com o auxílio da técnica de análise de variância (ANOVA), com 95% de intervalo de confiança. De acordo com a ANOVA e com o intervalo de confiança utilizado, os fatores são estatisticamente significantes se o “P-valor” foi menor ou igual a 0,05. Os gráficos de força foram plotados com ajuda de um programa desenvolvido no Matlab, onde foi possível definir os picos máximos e valores mínimos de força. Ficou definido que seriam usados os valores médios de força para todas as respostas encontradas independente da faixa de parâmetros de entrada utilizada.

3.1. Rugosidade

As significâncias das variáveis adotadas são observadas na Tabela 2 em conjunto com a relevância dos parâmetros, demonstrando assim a ocorrência de eventos não aleatórios para as variáveis, quando apresentado P-valor inferior a 5% pode-se afirmar a real influência dos parâmetros de entrada na variação dos valores de rugosidade.

Tabela 3. P-valores para a rugosidade Rz e Ra.

ANOVA	P-valor Rz	P-valor Ra
Avanço (mm/rot)	0,000	0,000
Velocidade de corte (mm/min)	0,452	0,960
Sistema de Refrigeração	0,000	0,000
Raio de Ponta (mm)	0,000	0,000
R² ajustado	96,85%	99,66%

A Figura 2 mostra a variação da rugosidade média em função da variação do avanço. Nota-se que com o aumento do avanço ocorre um aumento significativo do valor da rugosidade, tanto para o parâmetro Ra como para o parâmetro Rz. No gráfico nota-se que esta variação foi de 35,14% % para o parâmetro Ra e 37,38% para o parâmetro Rz. O avanço tem uma influência baseada em uma análise geométrica no processo de torneamento, quando se verifica o resultado da rugosidade no torneamento no sentido axial da peça. Esta análise defini que existe uma relação da variação do avanço ao quadrado dividido pelo resultado de 8 vezes o produto do raio de ponta, dessa forma tem-se o resultado de R_{MAX} que normalmente é proporcional aos resultados de Ra e Rz.

Debnath; Reddy; Yi, (2014) demonstraram no seu trabalho, onde foi usada a técnica de Taguchi para otimizar o processo de torneamento, que o avanço foi o fator mais influente sobre a rugosidade com um aumento de 43,3% no

valor da rugosidade. Resultados similares encontraram os autores Agrawal; Joshi, (2013); Rashid et al., (2016) no torneamento do aço AISI 4340 endurecido. Nesses trabalhos os autores afirmam que o avanço foi mais significativo que a velocidade de corte na influência sobre a rugosidade. Além disso, modelos multipolos de regressão foram usados para prever valores de rugosidade abaixo de 1 μm .

Isto demonstra que a variação do avanço está de acordo com trabalhos anteriores e que o avanço realmente tem forte influência sobre a rugosidade no torneamento de peças. Pode-se afirmar que o aumento do valor de avanço mantendo-se o raio de ponta da ferramenta aumenta de forma significativa os valores de rugosidade, tanto para os padrões de Ra como de Rz. Assim, pode-se definir também que o valor de rugosidade é diretamente proporcional ao avanço da peça. O coeficiente de determinação (R^2) para Rz e Ra foram respectivamente 96,85% e 99,66%, comprovando uma boa confiabilidade nos testes realizados, apontando assim um baixo desvio padrão das repetições.

Considerando a variação dos raios de ponta das ferramentas, pode-se observar que esses tiveram em conjunto com a variação do avanço uma grande influência nos valores de rugosidade, para ambos os parâmetros Ra e Rz. A partir da Fig. 2 é possível observar que ao dobrar o avanço houve um crescimento maior que 50% para a rugosidade em Ra e Rz.

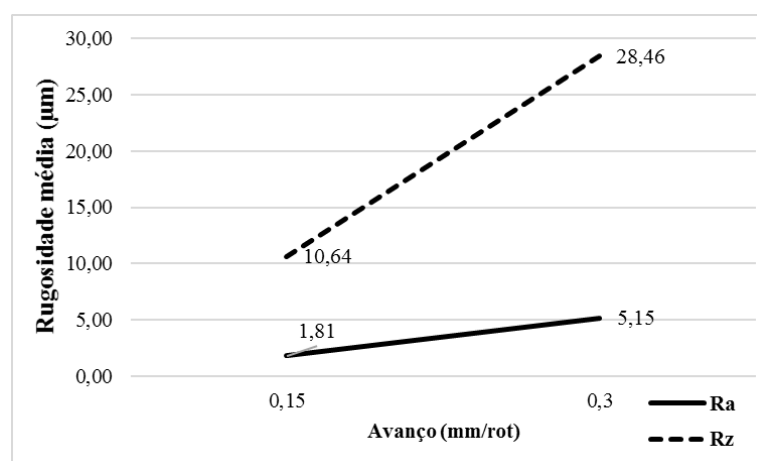


Figura 2. Variação da rugosidade em função do avanço. (Fonte: autoria própria).

Para o cálculo do valor teórico da rugosidade, o raio de ponta e o avanço são fatores considerados, sendo observado na Fig. 3 que este fator é inversamente proporcional ao valor da rugosidade. Na Fig. 3 observou-se que o raio de ponta foi o fator que mais influenciou na melhoria do acabamento superficial, quando comparado aos demais fatores considerados no presente trabalho. Pode-se notar que a variação da rugosidade foi maior quando se variou o valor do raio de ponta de 0,4 para 0,8 mm gerando uma redução de 40,93% para o valor de Rz e de 66,08% para o valor de Ra. Por outro lado, a variação no intervalo do raio de ponta de 0,8 para 1,2 gerou uma redução de 22,82% para o valor de Rz e de 49,70% para o valor de Ra. Esta variação foi proporcional para os dois parâmetros de rugosidade Ra e Rz. Isso demonstra que melhores valores de acabamento são obtidos com maiores raios de ponta das ferramentas e baixos valores de avanço devido ao efeito geométrico, comentando anteriormente.

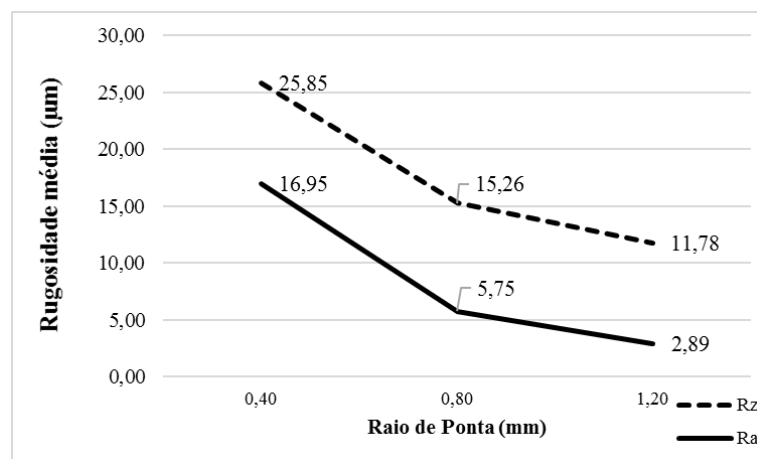


Figura 3. Variação da rugosidade em função do raio da aresta de corte. (Fonte: autoria própria).

Os diferentes tipos de refrigeração e lubrificação utilizados são apresentados na Fig. 4, apresentando uma vantagem pequena para o Ar frio, quando comparado ao fluido convencional, ou mínima quantidade de lubrificação (MQL). Observa-se na Fig. 4 que o ar frio, quando comparado com o MQL apresentou uma redução de 12,37% para o valor de Rz e de 8,38% para o valor de Ra. Comparado com o sistema de fluido convencional o ar frio apresentou uma redução de 14,78% para o valor de Rz e de 6,70% para o valor de Ra. Basicamente, apesar da Tab. 3 demonstrar que existe uma diferença entre os sistemas de refrigeração, na Fig. 4 nota-se que os valores de rugosidade Ra são praticamente constantes. Considerando o parâmetro de rugosidade Rz, nota-se que os valores para o sistema de MQL e fluido também foram similares ficando na mesma faixa de valores.

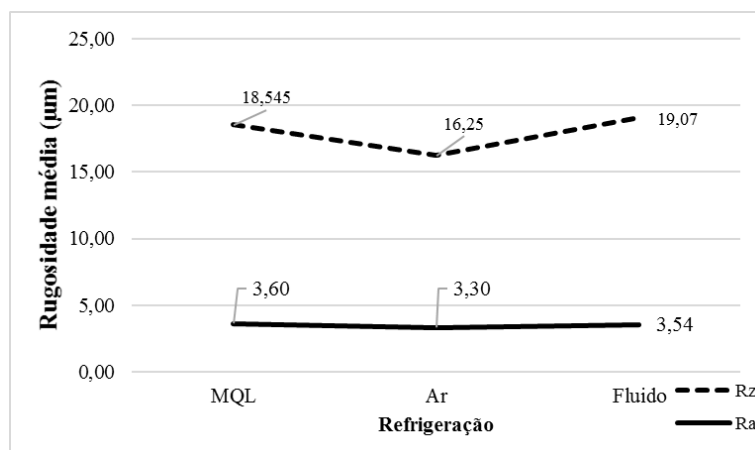


Figura 4. Variação da rugosidade em função do sistema de refrigeração. (Fonte: autoria própria).

A contribuição de cada parâmetro de corte na rugosidade foi observada, com isso, é possível observar que a superfície de resposta é afetada principalmente pelo raio de ponta, seguido do avanço. O Sistema de refrigeração por Ar frio apresentou menores valores para a rugosidade, entretanto, pode-se afirmar que existe uma ótima contribuição dos sistemas de MQL e Ar frio que é a contribuição para economia do processo, pois reduz simultaneamente a aquisição de grande volume de fluidos de corte e a necessidade de armazenagem e descarte desses fluidos após o uso.

3.2. Esforços de Corte

A Tabela 4 apresenta os resultados da análise de variância para os esforços de corte, sendo eles força de corte, força de avanço e força passiva. Dado o “P-valor” é possível observar que o avanço apresentou influência nas respostas medidas, para as forças de avanço e passiva estudadas.

Tabela 4. P-valores para os esforços de corte.

ANOVA	P-valor Força de Avanço	P-valor Força de Corte	P-valor Força Passiva
Avanço (mm/rot)	0,000	0,000	0,000
Velocidade de corte (mm/min)	0,083	0,126	0,454
Sistema de Refrigeração	0,153	0,605	0,061
R² ajustado	89,00%	88,26%	87,12%

A Figura 5a apresenta os gráficos de efeitos principais para a força de corte. Na análise dos pontos extremos do gráfico é possível verificar que o avanço teve maior influência nas médias dos valores da força de corte. O valor médio encontrado para a força de corte, com o avanço de 0,15 mm/rot foi de 446,7 N. Em relação ao nível de avanço de 0,30 mm/rot ocorreu um aumento da força de corte para 793,4 N. Assim, observa-se que houve uma variação da força de corte em função da variação do avanço de 43,7%.

Os fatores velocidade de corte e lubrificação não tiveram influência sobre a força de corte. Chinchankar *et al.* (2013), observou resultados similares onde os valores do avanço influenciam na secção da área de corte devido a sua relação com a pressão específica de corte. A figura 5b apresenta os gráficos de efeitos principais para a força de avanço. A variação dos valores de avanço proporcionou maiores alterações nos resultados da força de avanço. O valor da força de avanço média encontrada para o avanço de 0,15 mm/rot foi de 183,66 N e para o avanço de 0,30mm/rot esse valor médio foi de 261,84 N. Nota-se que houve uma variação da força de avanço em função da variação do avanço de 29,86%. No caso da força de avanço a influência exercida pelo avanço está relacionada com o vetor resultante gerado pela decomposição das forças de avanço e de corte no corte ortogonal. Entretanto, devido a variação do valor do avanço ser ortogonal a secção de corte existe uma forte influência não apenas sobre a força de corte, mas também sobre a força

de avanço. A figura 5c apresenta os gráficos de efeito para a força passiva. É possível observar que as variações nos níveis do avanço obtiveram maiores influências nos valores da força passiva. Observou-se que para o avanço de 0,15 mm/rot o valor da força passiva foi de 154,103 N e para o avanço de 0,30 mm/rot foi de 223,821 N. Isto demonstra uma variação de 31,17%.

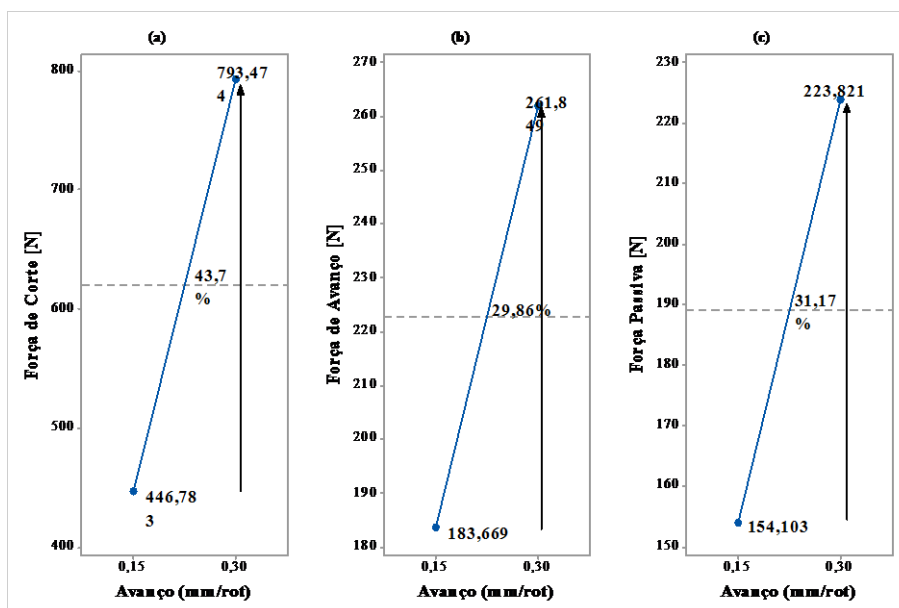


Figura 5. Influência dos parâmetros de entrada, (a) Força de Corte, (b) Força de Avanço, (c) Força Passiva. (Fonte: autoria própria).

A variação do avanço aumenta a seção de corte, por isso, ocorre o aumento dos esforços de corte no torneamento. Observa-se que o avanço é o fator que influencia todas as forças aqui analisadas. Portanto, definiu-se que o aumento dos esforços de corte, nestas condições aqui apresentadas, está relacionado com o aumento da seção de corte que ocorre perpendicular ao deslocamento da força de avanço e normal à força de corte, que são responsáveis pelo principal deslocamento da ferramenta.

3.3. CONCLUSÃO

Devido a sua importância e demanda o processo de usinagem do Aço Inox 304L mostrou-se importante para as aplicações e futuras aplicações da liga em produtos industriais. Empregando a rugosidade como resposta, as principais conclusões obtidas foram:

- Significantes alterações na rugosidade foram notadas a partir da variação do avanço, sendo o menor valor de avanço o que proporcionou o menor valor de rugosidade nos parâmetros Ra e Rz.
- A velocidade de corte demonstrou pouca influência para a rugosidade tanto para os parâmetros Ra como Rz.
- O Sistema de lubrificação por Ar frio mostrou-se de melhor eficiência para um bom acabamento superficial, quando comparado ao MQL e fluido convencional.
- Para os sistemas de refrigeração não foi observado influências notáveis nos esforços de corte.
- Uma vez observado a baixa variação dos sistemas de refrigeração nos resultados dos esforços de corte apresentados, acredita-se que quanto mais ecológico e sustentável o processo for executado para a liga em questão, menores serão os custos envolvidos na operação, isso se dá devido aos gastos envolvidos com os descartes dos líquidos refrigerantes dos processos de usinagem que pode apresentar em sua composição química agente não biodegradável, o que demanda de uma técnica especial para seu correto descarte e armazenamento.

4. AGRADECIMENTOS

A SANDVIK pela doação e entrega das ferramentas utilizadas e a Arcelor Mital pelo fornecimento do aço inoxidável. A Universidade Federal de São João Del Rei pelo espaço concedido e aos professores e técnicos que

auxiliaram na execução dos experimentos. A FAPEMIG pelo apoio a realização da pesquisa e financiamento para participação do COBEF 2017.

5. REFERÊNCIAS

- Agrawal, S.; Joshi, S. S. Analytical modelling of residual stresses in orthogonal machining of AISI4340 steel. **Journal of Manufacturing Processes**, v. 15, n. 1, p. 167–179, 2013.
- Çakir, O.; Kiyak, M.; Aaltan, E. Comparison of gases applications to wet and dry cuttings in turning. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 153–154, n. 1–3, p. 35–41, 2004.
- Debnath, S.; Reddy, M. M.; Yi, Q. S. Environmental friendly cutting fluids and cooling techniques in machining: A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 83, p. 33–47, 2014.
- Hamdan, A.; Sarhan, A. A. D.; Hamdi, M. An optimization method of the machining parameters in high-speed machining of stainless steel using coated carbide tool for best surface finish. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 58, n. 1–4, p. 81–91, 2012.
- Kaladhar, M.; Subbaiah, K. V.; Rao, C. S. Performance evaluation of coating materials and process parameters optimization for surface quality during turning of AISI 304 austenitic stainless steel. **International Journal of Engineering, Science and Technology**, v. 3, n. 4, p. 89–102, 2011.
- Korkut, I. et al. Determination of optimum cutting parameters during machining of AISI 304 austenitic stainless steel. **Materials and Design**, v. 25, n. 4, p. 303–305, 2004.
- Krolczyk, G. M.; Nieslony, P.; Legutko, S. Determination of tool life and research wear during duplex stainless steel turning. **Archives of Civil and Mechanical Engineering**, v. 15, n. 2, p. 347–354, 2015.
- Mahdavinjad, R. A.; Saeedy, S. Investigation of the influential parameters of machining of AISI 304 stainless steel. **Sadhana - Academy Proceedings in Engineering Sciences**, v. 36, n. 6, p. 963–970, 2011.
- Mata, F.; Davim, J. P. Multi-parameter surface roughness analysis in turning of polyamide composite using Polycrystalline Diamond tool. v. 32, p. 295–307, 2008.
- Nalbant, M.; Yildiz, Y. Effect of cryogenic cooling in milling process of AISI 304 stainless steel. **Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)**, v. 21, n. 1, p. 72–79, 2011.
- Noordin, M. Y. et al. Performance evaluation of cemented carbide tools in turning AISI 1010 steel. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 116, n. 1, p. 16–21, 2001.
- Ozelik, B. et al. Experimental investigations of vegetable based cutting fluids with extreme pressure during turning of AISI 304L. **Tribology International**, v. 44, n. 12, p. 1864–1871, 2011.
- Özel, T.; Hsu, T. K.; Zeren, E. Effects of cutting edge geometry, workpiece hardness, feed rate and cutting speed on surface roughness and forces in finish turning of hardened AISI H13 steel. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 25, n. 3–4, p. 262–269, 2005.
- Rashid, W. Bin et al. Parametric design optimization of hard turning of AISI 4340 steel (69 HRC). **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 82, n. 1–4, p. 451–462, 13 jan. 2016.
- Selvaraj, D. P.; Chandramohan, P. Optimization of Surface Roughness of AISI 304 Austenitic Stainless Steel in Dry Turning Operation using Taguchi Design Method. **Journal of Engineering Science and Technology**, v. 5, n. 3, p. 293–301, 2010.
- Sharma, V. S.; Dogra, M.; Suri, N. M. Cooling techniques for improved productivity in turning. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, v. 49, n. 6, p. 435–453, 2009.
- Shokrani, A.; Dhokia, V.; Newman, S. T. Environmentally conscious machining of difficult-to-machine materials with regard to cutting fluids. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, v. 57, p. 83–101, 2012.
- Su, Y. et al. Refrigerated cooling air cutting of difficult-to-cut materials. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, v. 47, n. 6, p. 927–933, 2007.
- Xavior, M. A.; Adithan, M. Determining the influence of cutting fluids on tool wear and surface roughness during turning of AISI 304 austenitic stainless steel. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 209, n. 2, p. 900–909, 2009.
- Yalçın, B.; Ozgur, A. E.; Koru, M. The effects of various cooling strategies on surface roughness and tool wear during soft materials milling. **Materials and Design**, v. 30, n. 3, p. 896–899, 2009.
- Zhang, S.; Li, J. F.; Wang, Y. W. Tool life and cutting forces in end milling Inconel 718 under dry and minimum quantity cooling lubrication cutting conditions. **Journal of Cleaner Production**, v. 32, p. 81–87, 2012.

6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluídos no seu trabalho.

ANALISYS OF THE ROUGHNESS AND CUTTING FORCES ON THE ORTOGHONAL CUT IN THE STAINLESS STEEL 304L USING DIFFERENTS SYSTEMS OF LUBRIREFRIGERATION

Samuel Alves de Freitas, samuelengmec@gmail.com¹
Lincoln Cardoso Brandão, lincoln@ufs.edu.br¹
Thiago Castro Freitas, thiagocastrofreitas@hotmail.com¹
Wasley Amaral Coelho, wasleyamaral@hotmail.com¹
Lincoln Maia Teixeira, lincoln_ufs2009@hotmail.com¹
Sandro Pereira da Silva, sandro.silva@deg.ufla.br²

¹Universidade Federal de São João Del Rei, Praça Frei Orlando, 170, Centro, São João Del Rei, Minas Gerais, CEP 36307-352.

²Universidade Federal de Lavras, Av. Doutor Sylvio Menicucci, 1001, Kennedy, Lavras, CEP MG, 37200-000.

Abstract: One of the most flexible processes in machining is turning, which was play very important role in manufacturing due to the useful. Stainless steel contains relevant physical and chemical properties compared with carbons steel such as higher mechanical resistance and excellent corrosion environment. Both characteristics make the stainless steel very attractive for the industry. Defining parameters of machining has been an objective to attend the request of physical and mechanical in the stainless steel plus a good productive too. The aim of this study is evaluate the 304L stainless steel turning using different cooling's systems, Minimization quantity of lubrication (MQL) and cold air, and compared these systems with dry machining. Coated carbide tools were used and their cutting parameters were defined according to supplier's catalogue. The objective was to investigate the influence of the refrigeration and lubrication systems and the cutting parameters on the answers, surface roughness, and cutting forces. The results showed that the cutting forces weren't influenced by the cooling conditions. However, tool tip radius was the most important factor in superficial roughness, decreasing the roughness significantly, when used bigger tool nose radius. Furthermore, the cold air cooling system is more efficient on the roughness answer than the MQL system.

Keywords: Surface Roughness, Minimum Quantity of Lubrication, Cold Air, Cutting Forces.