

AVALIAÇÃO DA RUGOSIDADE E DA POTÊNCIA NA RETIFICAÇÃO DO AÇO INOXIDÁVEL VP 420 COM REBOLO DE ALUMINA MONOCRISTALINA

Mayara Fernanda Pereira
Bruno Souza Abrão
Antonio Vitor de Mello
Rodolfo Fisher Moreira Oliveira
Rosemar Batista da Silva

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Avenida João Naves de Ávila, 2121, Santa Mônica, Uberlândia - MG
mayarafernanda.mec@gmail.com
brunoabrao53@gmail.com
antoniovitor.82mecanica@gmail.com
rodolfo.oliveira@saint-gobain.com
rosemar.silva@ufu.br

Resumo. Os aços inoxidáveis possuem uma ampla margem de aplicabilidade na indústria metal mecânica e de cutelaria, em especial na confecção de facas, tesouras e outros utensílios. E vários componentes fabricados a partir deste material necessitam de tolerâncias dimensionais e geométricas estreitas, que podem ser asseguradas com o processo de retificação. Contudo, a literatura ainda é escassa sobre informações sobre as condições de corte ideais para a retificação de aços inoxidáveis. Sob essa perspectiva, o presente trabalho visou avaliar a rugosidade do aço inoxidável VP 420 e a potência na retificação. Foram utilizados o rebolo de alumina monocristalina e os seguintes parâmetros de entrada: duas penetrações de trabalho ($a_e = 10 \mu\text{m}$ e $25 \mu\text{m}$) e velocidades da peça V_w e de corte V_s de 10 m/min e 37m/s, respectivamente. Como variáveis de saída, foram avaliados os parâmetros de rugosidade R_t e R_q e a potência elétrica máxima do processo de retificação. Os resultados mostraram que a usinagem com a menor penetração de trabalho $a_e = 10 \mu\text{m}$ gerou os menores valores de rugosidade das peças e de potência máxima.

Palavras chave: Retificação. Aço inoxidável martensítico VP420. Alumina monocristalina. Penetração de trabalho. Rugosidade. Potência.

1. INTRODUÇÃO

Na indústria metal mecânica é recorrente o uso de aços inoxidáveis como matéria prima para a fabricação de moldes e matrizes, vasos de pressão, partes de tubulações, bem como equipamentos de alta precisão. Essa empregabilidade é inerente às características dos aços inoxidáveis, dentre as quais destaca-se a elevada resistência à corrosão, alcançada em virtude da elevada quantidade de cromo, sendo que nesses materiais, o percentual mínimo equivale à 10,5 % de Cr (Cottel *et al.*, 2004). Outros elementos são comumente adicionados, como por exemplo: Ni, Mo, V, W, Mn, dentre outros, cuja finalidade é aprimorar as propriedades mecânicas. A partir da microestrutura principal e do tipo de tratamento térmico, os aços inoxidáveis são classificados em cinco grupos: ferríticos, austeníticos, martensíticos, duplex e endurecidos por precipitação (Outokumpu, 2013).

Dentre os principais tipos empregados usualmente na indústria, destaca-se o aço inoxidável martensítico VP 420, que é utilizado na confecção de moldes e matrizes do setor automobilístico, em componentes de instrumentos de medição e, principalmente, em itens de cutelaria (facas, tesouras e outros) (Prieto *et al.*, 2014; Scheuer *et al.*, 2013). Todavia, para a confecção dessas peças são necessários processos de fabricação assegurem tolerâncias dimensionais e geométricas estreitas (Jackson e Davim, 2011). E para este fim, destaca-se o processo de retificação que, apesar de ser uma operação de elevado custo, é uma operação empregada como opção aos processos de usinagem convencional para garantir as tolerâncias dimensionais e geométricas, baixos valores de rugosidade ($0,02 \mu\text{m}$ a $1,60 \mu\text{m}$) nas peças (Malkin e Guo, 2008).

Entretanto, existem poucos trabalhos na literatura acerca da retificação de aços inoxidáveis muito em virtude da dificuldade em se usar esses materiais, cujos elementos de liga presentes em sua constituição comprometem sua retificabilidade. Dentre os estudos sobre retificação de aços inoxidáveis disponíveis na literatura até o momento, destaca-se o trabalho desenvolvido por da Silva *et al.* (2012), no qual foi realizado o processo de retificação plana tangencial em amostras do aço inoxidável endurecido por precipitação VP 80, com rebolo de alumina branca convencional (FE38A80K) e fluido semissintético diluído em água a 5 %. Os autores variaram também a geometria do

bocal e a penetração de trabalho (a_e) de 0,20 e 0,40 μm e observaram que a usinagem na condição mais branda, com $a_e=20 \mu\text{m}$, resultou em menores valores de rugosidade, condição esta em que praticamente não se observou influência do tipo do bocal.

Nesse sentido, o presente trabalho tem por finalidade avaliar a rugosidade e a potência na retificação do aço inoxidável VP 420 com rebolo de alumina monocristalina em diferentes condições de corte.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios de retificação foram realizados em uma máquina retificadora plana tangencial, semiautomática, modelo P36, com potência útil de 2,24 kW e rotação constante de 2 400 rpm, do fabricante MELLO S.A. Como ferramenta de corte, empregou-se um rebolo de alumina monocristalina, com especificação 65A120K8V40W e dimensões: 300 mm de diâmetro externo X 25 mm de largura X 127 mm de diâmetro interno. O material da peça utilizado nos ensaios foi o aço inoxidável martensítico VP 420 que foi submetido previamente aos tratamentos térmicos de têmpera e revenimento, sendo que as amostras foram cortadas nas seguintes dimensões: 60 mm de comprimento X 10 mm de largura X 23 mm de altura.. Para os ensaios cada amostra foi fixada em uma morsa de precisão e posicionada de tal forma a garantir o paralelismo entre a superfície a ser retificada e a mesa da máquina retificadora, Fig. 1.

Antes de cada ensaio experimental, o rebolo foi dressado com um dressador do tipo *fliesen* com dois passes consecutivos utilizando uma profundidade de dressagem (a_d) de 20 μm , o que conferiu um grau de recobrimento do rebolo, U_d , igual a 6. Todos os ensaios foram feitos na presença de um fluido de corte sintético de base vegetal, Grindex 10, diluído em água a uma proporção de 1:19 (BRIX de 3,2 %), cuja concentração foi verificada através de um refratômetro N1, ATAGO antes de cada ensaio. O fluido foi aplicado de forma abundante a uma vazão de 11 L/min (a uma velocidade do fluido de corte, V_f , de 37,35 m/s. Foi utilizado o bocal do tipo sapata que foi posicionado a 82,0 mm e 103,0 mm horizontal e verticalmente da região de corte, a fim de assegurar que o jato do fluido tangenciasse a superfície de corte do rebolo. Como parâmetros de corte foram empregadas duas penetrações de trabalho a_e (10 μm e 25 μm), e velocidades de corte V_s e da peça (V_w) iguais a 37 m/s e 10 m/min, respectivamente. Como a velocidade do fluido de corte ($V_f = 37,35 \text{ m/s}$) foi superior a velocidade de corte do rebolo ($V_s = 37 \text{ m/s}$), foi garantido que o fluido de corte efetivamente atingiu a superfície da peça assegurando a lubrificação na zona de corte.

Após os ensaios experimentais, foram avaliados nas amostras retificadas os parâmetros de rugosidade R_t (altura total do perfil) e R_q (desvio médio quadrático) e a potência máxima de retificação. A opção por avaliar o parâmetro R_q em vez do parâmetro R_a (o mais popular e mais empregado para avaliar superfícies usinadas) deveu-se ao fato de ele ser indicado para superfícies onde os sulcos gerados são orientados (como no caso da retificação). Como vantagens, o R_q permite ressaltar os picos e vales, tendo em vista ser uma média quadrática onde os valores das ordenadas são elevados ao quadrado e depois é extraída a raiz, evidenciando-se, desta forma, os efeitos das irregularidades superficiais. Portanto, ele fornece informações mais precisas acerca do perfil de rugosidade gerado. Os parâmetros de rugosidade foram mensurados após cada ensaio de retificação no Laboratório de Metrologia (LEMETRO – UFU), sob condições controladas de temperatura, $(20 \pm 1) ^\circ\text{C}$, através de um rugosímetro portátil modelo Surtronic S-100 Series (nº 010720), do fabricante Taylor Robson. Ele possui resolução igual a 0,01 μm , raio de ponta do apalpador de 2 μm . Foram adotados um comprimento de onda do filtro (*cut-off*) de 0,80 mm e um comprimento de avaliação de 4,0 mm. As medições foram efetuadas movimentando-se o apalpador do rugosímetro transversalmente ao sentido de retificação, em cinco regiões distintas e igualmente espaçadas das amostras retificadas. A potência de retificação foi medida durante o ensaio de retificação através da aquisição dos valores de tensão e corrente elétrica, por meio de dois sensores de efeito hall, LV – 20p e HAS 50 – 600 S, respectivamente. Para a conversão dos sinais utilizou-se uma placa conversora NI6001, da *National Instruments*. A análise dos sinais foi realizada através do software LabView, *National Instruments*.

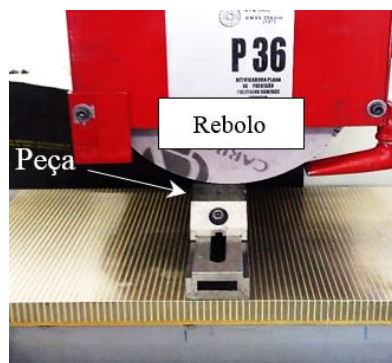


Figura 1. Configuração do sistema de fixação da peça e rebolo para a retificação plana de aço inoxidável martensítico VP 420.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção do trabalho serão apresentados os resultados acerca dos parâmetros de rugosidade das superfícies R_q e R_t , bem como os resultados referentes à potência de retificação nas amostras do aço inoxidável martensítico VP 420.

3.1. Rugosidade das superfícies

Nas Figura 2 (a) e (b) são apresentados os resultados médios de rugosidade R_q e R_t das amostras de aço VP420, respectivamente, medidos após a retificação em diferentes condições de corte. A partir dos gráficos é possível observar que um incremento na penetração de trabalho (a_e) do rebolo sobre a peça, de 10 μm para 25 μm , proporcionou um aumento nos valores de rugosidade para ambas os parâmetros mensurados. Segundo Klocke (2009), o aumento na penetração de trabalho (a_e) leva ao aumento no comprimento de contato entre rebolo e peça e, consequentemente, o número de partículas abrasivas do rebolo que atuam efetivamente na remoção de material aumenta, bem como os esforços de corte. Com isso, ocorre o deterioramento do acabamento (elevando a rugosidade). Neste caso, os valores médios de rugosidade R_q oscilaram de $[0,68 \pm 0,16]$ μm para $[1,18 \pm 0,28]$ μm , enquanto que os valores de rugosidade R_t variaram de $[6,26 \pm 2,63]$ μm a $[8,00 \pm 3,39]$ μm . Contudo, levando-se em consideração os desvios padrões referentes às medições, e não somente o valor médio, verifica-se que, sobretudo para o parâmetro R_t a variação de rugosidade em função do incremento na penetração de trabalho, não foi tão evidente.

O mesmo comportamento foi também observado em um trabalho experimental desenvolvido por Manimaran e Kumar (2013) em que os autores avaliaram a rugosidade das superfícies das peças de aço inoxidável austenítico AISI 316 após a retificação com um rebolo de óxido de alumínio *Sol Gel* e na presença de fluido de corte semissintético diferentes penetrações de trabalho. Eles verificaram que o aumento na penetração de trabalho (a_e) de 10 μm para 40 μm implicou em aumento de médio de rugosidade R_a de 0,30 μm para 0,70 μm . Em outro trabalho de retificação de Inconel 718 com rebolo de óxido de alumínio (AA60K6V) e fluido de corte semissintético ME – 3, da Silva *et al.* (2016) avaliaram a influência da penetração de trabalho na rugosidade de superfícies e observaram que os valores de rugosidade R_a variaram de 0,15 μm a 0,30 μm após a penetração de trabalho ter aumentando de 10 μm a 30 μm .

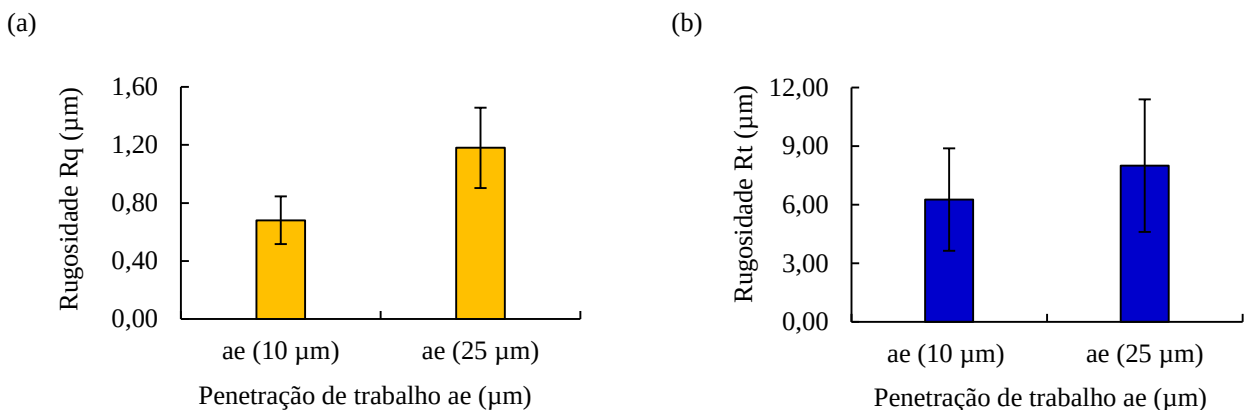


Figura 2. Rugosidades R_q (a) e R_t (b) em função da penetração de trabalho a_e nas amostras retificadas do aço inoxidável martensítico VP 420.

3.2. Potência máxima de retificação

Da Fig. 3 observa-se que uma elevação nos valores de penetração de trabalho a_e , de 10 μm para 25 μm exigiu maior esforço da máquina, o que refletiu no aumento da potência elétrica de retificação de 926,65 W para 1 308,55 W. De acordo com Malkin e Guo (2008), o aumento no comprimento de contato entre rebolo e peça, proporcionado pelo aumento na penetração de trabalho, induz a maiores esforços de corte, requisitando da máquina retificadora, um consumo maior de potência para um proporcional aumento na quantidade de material removido. Em um estudo desenvolvido por Kwak *et al.* (2006), que teve por finalidade monitorar a potência ao longo da retificação do aço endurecido SCM440 (SAE 4140), os autores constataram que um incremento na penetração de trabalho (a_e) implicou em um aumento nos valores de potência de corte mensurados.

Um comportamento semelhante foi também observado por Ji *et al.* (2016) durante ensaios de retificação de perfil de amostras de 20CrMnTi com rebolo *Seeded - gel* (3SG60-H12VSP); eles observaram um aumento nos valores de potência de corte (1 000 W para 5 000 W) em função da penetração de trabalho (a_e), quando esta aumentou de 0,05 μm para 0,25 μm . Estes resultados corroboram com o fato de que em condições mais severas de retificação, o consumo de energia elétrica pela máquina retificadora tende a aumentar, a fim de assegurar a remoção de material da peça pelo

rebolo. Ainda de acordo com Palmer *et al.* (2018), a topografia do rebolo, caracterizado essencialmente pelas condições das partículas abrasivas, influencia sobremaneira no processo de retificação, em específico, na potência requerida da máquina ferramenta para a realização da remoção de material da peça sob a forma de cavaco.

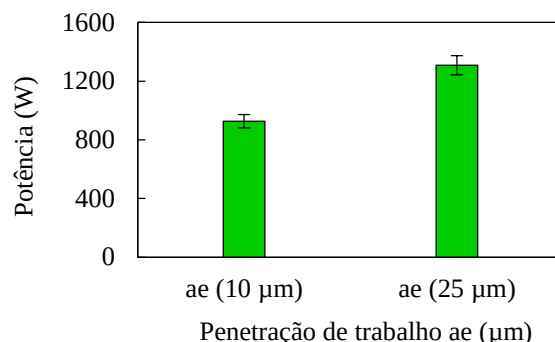


Figura 3. Potência máxima de retificação em função da penetração de trabalho a_e durante a usinagem do aço inoxidável martensítico VP 420.

Ao correlacionar os resultados de potência de retificação com os valores de rugosidade R_q e R_t alcançados (Figuras 2a e 2b), e levando em conta que foi variada apenas a penetração de trabalho a_e (10 μm – 25 μm), já que as velocidades de corte e velocidade da peça foram mantidas constantes, observa-se que o aumento na penetração de trabalho implica no aumento da espessura de cavaco removido e, consequentemente, dos esforços necessários para o corte (Malkin e Guo, 2008). Este fenômeno leva à deterioração do acabamento.

4. CONCLUSÕES

A partir dos ensaios experimentais e resultados alcançados, as seguintes conclusões podem ser tiradas:

- A rugosidade das superfícies retificadas em termos dos parâmetros R_t e R_q aumentou em função da penetração de trabalho (a_e).
- Um acréscimo na penetração de trabalho (a_e) de 10 μm para 25 μm exigiu um consumo maior de energia elétrica pela máquina retificadora que refletiu no aumento da potência máxima de retificação, sendo que o valor máximo alcançado foi de 1 308,55 W.
- Pode-se obter diferentes níveis de rugosidade em função de diferentes penetrações de trabalho; dependendo da rugosidade necessária exigida a cada tipo de aplicação do aço VP420, pode-se aumentar a produtividade com o aumento da penetração de trabalho (a_e).

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às empresas *Blaser Swisslube* e a *Saint-Gobain Abrasives* da América do Sul pelo fornecimento dos fluidos de corte e rebolos, respectivamente. Eles agradecem também a todos os integrantes do Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem e o Laboratório de Usinagem Convencional, da FEMEC – Universidade Federal de Uberlândia, como também às agências CAPES, FAPEMIG e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFU pelo apoio financeiro. Rosemar Silva agradece em especial ao CNPq pelo apoio por meio de bolsa de Produtividade em Pesquisa – PQ - Chamada CNPq N° 12/2016, processo n°. 311337/2016-3, pois este trabalho relaciona-se a um dos subprojetos de sua bolsa.

6. REFERÊNCIAS

- Cottel, C.M., Sprague, J.A e Smidt Jr, F.A., 2004. *ASM HANDBOOK: Surface Engineering*. ASM INTERNATIONAL, Ohio, 9ª edição.
- da Silva, R.B., Ezugwu, E.O., Guimarães, C., Marques, A., Fernandes, L.A. e Gelamo, R.V. 2012. “Experimental study on peripheral surface grinding of a plastic mould VP 80 – steel with Al_2O_3 abrasive wheel. In *Nineth International Conference on surface on high speed machining*. San Sebastian, Espanha.
- da Silva, R.B., Oliveira, D., de Castro, P.H.C., Ezugwu, E.O., Marques, A. e Machado, A.R. 2016. “Grinding of Inconel 718 alloy with air-oil-water mixture delivered by MQL technique”. *STLE Annual Meeting & Exhibition*, Las Vegas, EUA.
- Jackson, M.J. e Davim, J.P., 2011. *Machining with Abrasives*. Springer, New York, 1ª edição.
- Jin, T., Yin, J. e Cai, R. 2016. “Investigation on the grinding force, power and heat flux distributions along the tooth profile in form grinding of gears”. In *11th International Manufacturing Science and Engineering Conference*, Virginia, EUA.
- Klocke, F. 2009. *Manufacturing process 2: grinding, honing, laping*. Springer, Aachen, 1ª edição.

- Kwak, J.S., Sim, S.B. e Jeong, Y.D. 2006. "An analysis of grinding power and surface roughness in external cylindrical grinding of hardened SCM440 steel using response surface method". *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. Vol. 46, p. 304-312.
- Malkin, S. e Guo, C. 2008. *Grinding Technology: Theory and Applications of Machining with Abrasives*. Industrial Press, New York, 2ª edição.
- Manimaran, G. e Kumar, M.P. 2013. "Effect of cryogenic cooling and sol-gel alumina wheel on grinding performance of AISI 316 stainless steel". *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. Vol. 13, p. 304-312.
- Outokumpu. 2013. *Handbook of Stainless Steel*. Outokumpu, Avesta, 1ª edição.
- Palmer, J., Curtis, D., Novovic, D. e Ghadbeigi, H. 2018. "The influence of abrasive grit morphology on wheel topography and grinding performance". *Procedia CIRP*. Vol. 77, p. 239-242.
- Prieto, G., Ipiña, J.E. e Tuckart, W. R. 2014. "Cryogenic treatments on AISI stainless steel: microstructure and mechanical properties". *Materials Science & Engineering A*. Vol. 605, p. 236-243.
- Scheuer, C.J., Cardoso, R.P., Mafra, M. e Brunatto, S.F. 2013. "AISI 420 martensitic stainless steel low-temperature plasma assisted carburizing kinetics". *Surface & Coating Technology*. Vol. 214, p. 30-37.
- Villares Metals. 2005. *Catálogo: Aços inoxidáveis*. Villares Metals, São Paulo, 1ª edição.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

Evaluation of surface roughness and grinding power of VP 420 stainless steel with monocrystalline alumina grinding wheel

Mayara Fernanda Pereira
Bruno Souza Abrão
Antonio Vitor de Mello
Rodolfo Fisher Moreira Oliveira
Rosemar Batista da Silva

Federal University of Uberlândia, School of Mechanical Engineering, Avenue João Naves de Ávila, 2121, Santa Mônica, Uberlândia - MG
mayarafernanda.mec@gmail.com
brunoabrao53@gmail.com
antoniovitor.82mecanica@gmail.com
rodolfo.oliveira@saint-gobain.com
rosemar.silva@ufu.br

Abstract. Stainless steel has a wide range of application in metalworking and cutlery industries, especially in the manufacturing of knives, scissors and other utensils. Several components made from this material require tight dimensional and geometric tolerances that can be ensured by grinding process. However, the literature is still scarce of information about proper cutting conditions for grinding of stainless steels. From this perspective, the current work aimed to evaluate the surface roughness of the VP 420 stainless steel and grinding power of the process. Tests were carried out with a monocrystalline alumina grinding wheel and the following input parameters were employed: two radial depth of cut ($a_e = 10 \mu\text{m}$ and $25 \mu\text{m}$) values, worktable speed V_w and cutting speed V_s of 10 m/min and 37 m/s , respectively. The results showed the machining with the lowest radial depth of cut $a_e = 10 \mu\text{m}$ generated the lowest values of surface roughness and grinding power

Keywords: Grinding. VP 420 stainless steel. Monocrystalline alumina grinding wheel. Radial depth of cut. Surface roughness. Grinding power.

RESPONSIBILITY NOTICE

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