

Análise da qualidade superficial e da microdureza de aço inoxidável martensítico após a retificação

Analysis of surface quality and microhardness of martensitic stainless steel after grinding

DOI:10.34117/bjdv7n8-400

Recebimento dos originais: 17/07/2021

Aceitação para publicação: 17/08/2021

Mayara Fernanda Pereira

Mestre em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia – Avenida João Naves de Ávila, 2121, Santa Mônica, Uberlândia – MG
E-mail: mayarafernanda.mec@gmail.com

Bruno Souza Abrão

Mestre em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia– Avenida João Naves de Ávila, 2121, Santa Mônica, Uberlândia – MG
E-mail: brunoabrao53@gmail.com

Antonio Vitor de Mello

Mestre em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia – Avenida João Naves de Ávila, 2121, Santa Mônica, Uberlândia – MG
E-mail: antonio.mello@ufu.br

Rodolfo Fisher Moreira Oliveira

Engenheiro Mecânico, Sales Manager South America – HIGH PERFORMANCE SOLUTIONS – Avenida Independência, 7031, Vinhedo - SP
E-mail: rodolfo.oliveira@saint-gobain.com

Rosemar Batista da Silva

Doutor em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia– Avenida João Naves de Ávila, 2121, Santa Mônica, Uberlândia – MG
E-mail: rosemar.silva@ufu.br

RESUMO

Aços inoxidáveis são materiais com elevada resistência à corrosão que são empregados em vários setores, como metal mecânica, automobilístico, petroquímico e aeroespacial, como também no setor de cutelaria. E para este último setor, os mais empregados são os aços inoxidáveis martensíticos. Entretanto, estes possuem uma pobre usinabilidade e, mais especificamente, pobre retificabilidade com rebolos abrasivos convencionais em relação aos aços endurecidos. Nesse sentido, este trabalho visa analisar o acabamento da superfície (em termos de rugosidade) e a microdureza do aço inoxidável martensítico VP420 após a retificação com rebolo abrasivo convencional de óxido de alumínio branco. Como parâmetros de corte foi variada a penetração de trabalho (10 μm e 25 μm). As velocidades de corte e da peça foram mantidas constantes em 37 m/s e 10 m/min, respectivamente. Como resultados, observou-se que o acabamento piorou com o aumento de ambos Ra e Rz, como também se constatou maior variação na faixa de microdureza abaixo da superfície retificada ao empregar a maior penetração de trabalho.

Palavras-Chave: Retificação, Aço Inoxidável Martensítico Vp420, Rugosidade, Microdureza.

ABSTRACT

Stainless steels are materials with high corrosion resistance that are used in various sectors, such as metal mechanics, automotive, petrochemical and aerospace, as well as in the cutlery sector. And for this last sector, the most used are the martensitic stainless steels. However, these have a poor machinability and, more specifically, poor grindability with conventional abrasive wheels in relation to hardened steels. In this sense, this work aims to analyze the surface finish (in terms of roughness) and microhardness of martensitic stainless steel VP420 after grinding with a conventional white aluminum oxide abrasive wheel. As cutting parameters the working penetration was varied (10 μm and 25 μm). The cutting and workpiece speeds were kept constant at 37 m/s and 10 m/min, respectively. As results, it was observed that the finish worsened with the increase of both Ra and Rz, as well as greater variation in the microhardness range below the ground surface when employing the higher working penetration.

Keywords: Grinding, Martensitic Stainless Steel Vp420, Roughness, Microhardness.

1 INTRODUÇÃO

Na indústria metal mecânica assim como na de cutelaria muitos componentes devem ser fabricados em aço inoxidáveis por causa da elevada resistência à corrosão que estes materiais possuem. Existem cinco principais classes de aços inoxidáveis, como os austeníticos, os ferríticos, os martensíticos, os duplex e, por fim, os endurecidos por precipitação (Outokumpu, 2013).

Dentre esses materiais, destaca-se o aço inoxidável martensítico VP420, por apresentar um teor de cromo em torno de 12 % em peso e um equilíbrio entre as propriedades mecânicas e resistência à corrosão, fazendo com que esse seja um aço na indústria petroquímica, química, na fabricação de equipamentos médicos e odontológicos, compressores e na indústria de cutelaria (Prieto et al., 2014).

Contudo, em virtude dessas aplicações, os aços inoxidáveis passam por uma longa cadeia produtiva e ao final da mesma, são submetidos a processos de usinagem para assegurar aos componentes tolerâncias dimensionais e geométricas estreitas. E para muitos componentes, o processo de retificação torna-se a única alternativa (Jackson e Davim, 2011). A retificação é um processo de usinagem por abrasão, no qual se empregam ferramentas abrasivas denominadas rebolos, sendo que as partículas abrasivas que compõem os mesmos são as responsáveis pela remoção de material da peça sob a forma de cavacos de dimensões reduzidas (Klocke, 2009). Nesse processo, as velocidades de corte são elevadas, normalmente acima de 30 m/s, com valores de penetrações de

trabalho muito baixas, da ordem de micrometros; assim, os componentes retificados além de apresentarem tolerâncias dimensionais e macrogeométricas estreitas, a outra vantagem está relacionada com valores de rugosidade média Ra inferiores a $1,60 \mu\text{m}$ (Malkin e Guo, 2008).

No entanto, diferentemente do que é observado na literatura específica sobre a retificação de aços endurecidos, os trabalhos sobre a retificação de aços inoxidáveis ainda são poucos. Por esta razão, o presente trabalho irá analisar o acabamento da superfície (em termos de rugosidade) e da microdureza do aço martensítico VP420 após a retificação com rebolo abrasivo convencional de óxido de alumínio branco com diferentes penetrações de trabalho.

2 METODOLOGIA

Ensaio experimentais de retificação foram realizados em uma máquina retificadora plana tangencial semiautomática, modelo P36, com potência útil de 2,24 kW, rotação constante de 2 400 rpm, do fabricante MELLO S.A. As amostras retificadas são de aço inoxidável martensítico VP420 com dimensões: 60 mm de comprimento X 10 mm de largura X 23 mm de altura. A composição química e principais propriedades encontram-se na Tab. (1). Foi utilizado um rebolo de óxido de alumínio branco com especificação AA120K8V40W e dimensões: 300 mm de diâmetro externo X 25 mm de largura X 127 mm de diâmetro interno. Os ensaios foram feitos com fluido de corte de base vegetal semissintético VASCO 7000 (diluído em água na proporção 1:19) e que foi aplicado à uma vazão V_j constante de 11 L/min via a técnica convencional. O bocal foi posicionado às distâncias horizontal e vertical do rebolo de 82,0 mm e 103,0 mm, respectivamente, a fim de assegurar que o fluido tangenciasse o rebolo.

Tabela 1. Composição química e principais propriedades do aço inoxidável martensítico VP 420 (Adaptado de Villares Metals, 2014).

Elementos químicos principais					Dureza (HV)	Limite de escoamento (MPa)	Conductividade térmica (W. (m.°C)-1)
C	Mn	Cr	Si	V			
0,40	0,50	13,50	0,80	0,25	537 ± 2	$1,344 \cdot 10^{-9}$	24,9

Antes de cada ensaio experimental foi realizada a operação de dressagem com um dressador do tipo fliesen, que percorreu transversalmente a largura do rebolo em dois passes consecutivos de profundidade de dressagem $a_d = 20 \mu\text{m}$. A largura de atuação do rebolo b_d foi igual a 0,8 mm a fim de garantir um grau de recobrimento U_d igual a 6. Como parâmetros de entrada foram adotados uma velocidade de corte $V_s = 37 \text{ m/s}$, uma

velocidade da peça $V_w = 10$ m/min e dois valores de penetração de trabalho a_e ($10 \mu\text{m}$ e $25 \mu\text{m}$). Como variáveis de saída avaliadas foram avaliados os parâmetros de rugosidade R_a (desvio aritmético médio) e R_z (altura máxima do perfil), bem como a microdureza vickers.

Os parâmetros de rugosidade foram mensurados no LEMETRO – UFU sob uma temperatura de (20 ± 1) °C. O instrumento de medição empregado foi um rugosímetro portátil modelo Surtronic S-100 Series (n° 010720) do fabricante Taylor Robson, que possui uma resolução de $0,01 \mu\text{m}$ e raio de ponta do apalpador de $2 \mu\text{m}$. Para a aquisição dos dados foi selecionado um comprimento de onda do filtro (cut-off) de $0,80$ mm e um comprimento de avaliação de $4,0$ mm. Em cada superfície retificada o apalpador do rugosímetro percorreu transversalmente ao sentido de retificação cinco regiões distintas e igualmente espaçadas, para a obtenção dos valores de rugosidade R_a e R_z , a partir dos quais foram calculados a média e o desvio padrão para apresentação dos resultados deste trabalho.

As medições de microdureza nas amostras do aço VP420 foram realizadas em um microdurômetro SHIMADZU HMV-G, do LAPROSOLDA – UFU com uma aplicação de pré-carga de $255,2$ mN ($0,025$ HV) por um tempo de 15 s. O procedimento de medição tomo como base a norma ASTM E92-82 (2017) e com medição abaixo da superfície retificada iniciada a partir de $30 \mu\text{m}$, com incrementos na vertical de $20 \mu\text{m}$ até alcançar a distância de $210 \mu\text{m}$. Ao todo foram feitas 10 medições em 3 regiões distintas de cada amostra.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão apresentados os resultados de rugosidade e microdureza mensurados nas amostras de aço inoxidável martensítico VP420 após o processo de retificação plana tangencial.

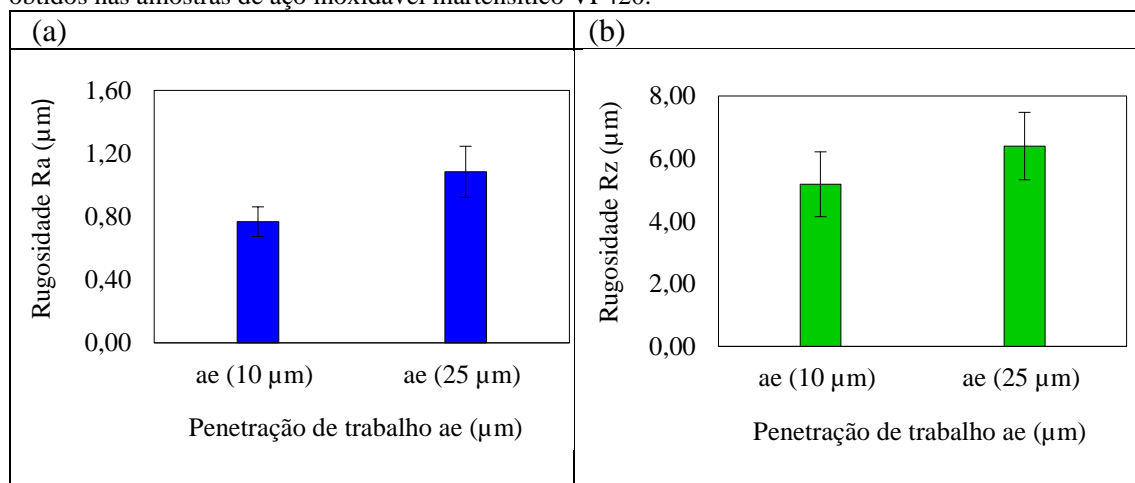
3.1 RUGOSIDADE DAS SUPERFÍCIES

Nas Figuras (1.a) e (1.b) são apresentados os gráficos com valores médios de rugosidade R_a e R_z , respectivamente, em função da penetração de trabalho a_e . Destas figuras é possível observar que ambos parâmetros de rugosidade aumentaram com a penetração de trabalho, cerca de $31,75$ % de aumento ao passar de 10 para $25 \mu\text{m}$. Para o parâmetro R_a , verificou-se um aumento em cerca de 40 % nos valores médios de rugosidade. Com relação ao parâmetro R_z , o aumento foi de $23,5$ % para a mesma

mudança no a_e . Isso se deve ao fato de haver uma maior quantidade de abrasivos entre em contato com a superfície da peça a ser retificada quando a penetração de trabalho a_e é aumentada. Com isso, a área de contato entre o rebolo e a peça tende a ser maior, bem como o comprimento de contato, o que proporciona um aumento na espessura de material a ser removido da peça. Consequentemente, o maior número de partículas abrasivas atuando na remoção de material da peça proporcionará uma superfície de pior acabamento (maior valor de rugosidade) (Marinescu et al., 2016).

Manimaran e Kumar (2013) realizaram ensaios de retificação plana tangencial em amostras do aço inoxidável austenítico AISI 316, com rebolo de óxido de alumínio seeded-gel (SG) a uma velocidade de corte $V_s = 31,4$ m/s, penetração de trabalho a_e entre $10 \mu\text{m}$ a $40 \mu\text{m}$ e em diferentes condições de lubrificação: a seco, com fluido de corte semissintético e nitrogênio líquido. De acordo com os autores, houve um aumento nos valores médios de rugosidade R_a de $0,30 \mu\text{m}$ a $0,70 \mu\text{m}$, ou seja, um aumento de 133 % nos valores de rugosidade. Outra pesquisa desenvolvida por Zhou et al. (2017) teve por finalidade avaliar a integridade superficial do aço inoxidável duplex UNS S2304 após retificação plana tangencial com rebolo de óxido de alumínio convencional de granulometria #60 e os seguintes parâmetros de corte: velocidade de corte de 23 m/s e velocidade da mesa de 8 m/min. Com resultados, os autores constataram que os maiores valores de rugosidade R_a foram em média $[1,45 \pm 0,08] \mu\text{m}$ e os valores máximos de rugosidade R_z foram de $[15,84 \pm 2,48] \mu\text{m}$.

Figura 1. Valores médios de rugosidade R_a (a) e rugosidade R_z (b) em função da penetração de trabalho a_e obtidos nas amostras de aço inoxidável martensítico VP420.

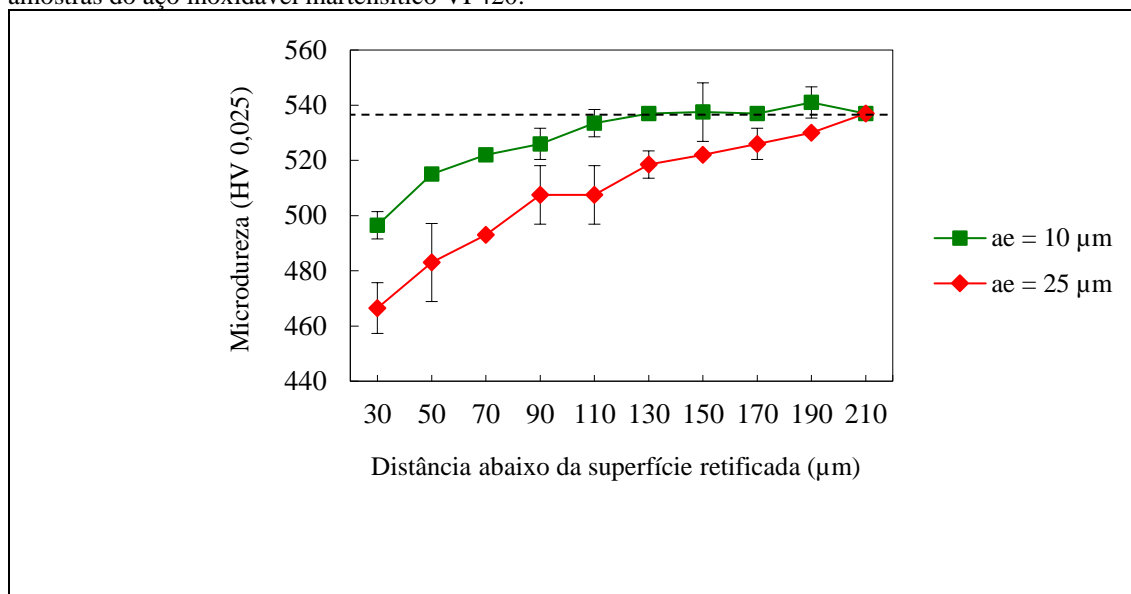


3.2 MICRODUREZA

Os valores de microdureza vickers obtidos nas amostras retificadas do aço inoxidável martensítico VP420 encontram-se representados nos gráficos da Fig. (2) em função da distância abaixo da superfície retificada, em micrometros. A partir das curvas apresentadas, verificou-se que sob a condição de penetração de trabalho mais branda ($ae = 10 \mu\text{m}$) a variação de microdureza em relação à referência do material (537 HV) (linha tracejada) foi de $[493 \pm 4]$ HV, a $30 \mu\text{m}$ abaixo da superfície retificada, para $[533 \pm 5]$ HV, a $110 \mu\text{m}$ abaixo da superfície retificada, o que corresponde a um aumento percentual de 8 %. Todavia, quando foi empregada uma penetração de trabalho maior, igual a $25 \mu\text{m}$, os valores de microdureza mensurados foram de $[466 \pm 9]$ HV, a $30 \mu\text{m}$ abaixo da superfície retificada, para $[537 \pm 0]$ HV, a $210 \mu\text{m}$ abaixo da superfície retificada, equivalente a um aumento de 15 %. Logo, com o aumento na penetração de trabalho de $10 \mu\text{m}$ para $25 \mu\text{m}$, além da variação na microdureza ter sido maior, a faixa ao longo da qual essa variação ocorreu foi $100 \mu\text{m}$ mais extensa. Segundo Rowe (2014), com o aumento na penetração de trabalho ae , a geração de calor entre rebolo e peça tende a ser maior em virtude do aumento na área de contato entre abrasivos e a superfície da peça; conseqüentemente, a temperatura desenvolvida no contato é maior, o que proporciona danos superficiais e sub-superficiais, os quais podem ser verificados, entre outras formas, pela variação na microdureza perpendicularmente a superfície retificada.

Fathallah et al. (2009) realizaram um estudo experimental em retificação do aço para moldes AISI D2 e avaliaram a influência do tipo de rebolo empregado (óxido de alumínio e carbeto de silício) e da condição de lubrificação (fluido de corte e nitrogênio) líquido em vários parâmetros, dentre eles a microdureza. Os resultados de microdureza mostraram que, independentemente do rebolo e da penetração de trabalho empregados, os valores de microdureza foram elevados a partir de $0,05 \text{ mm}$ abaixo da superfície retificada (860 HV) e decresceram até valores próximos da microdureza própria do material (800 HV), a partir de $0,2 \text{ mm}$ abaixo da superfície retificada.

Figura 2. Valores de microdureza vickers em função da distância abaixo da superfície retificada das amostras do aço inoxidável martensítico VP420.



4 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados de rugosidade e de microdurezas nas amostras do aço inoxidável martensítico VP420 após a retificação plana, as seguintes conclusões foram obtidas:

Os valores de rugosidade Ra e Rz aumentaram com a penetração de trabalho. A variação na penetração de trabalho de 10 µm para 25 µm proporcionou um aumento médio nas rugosidades em cerca de 40 % e 23,5 % nos valores de rugosidade.

O aumento na penetração de trabalho, de 10 µm para 25 µm, proporcionou uma maior variação na microdureza abaixo da superfície retificada. Sob um ae de 10 µm, houve uma variação de 8 % nos valores de microdureza, enquanto que na condição onde foi adotada uma penetração de trabalho maior, ae igual a 25 µm, houve um aumento de 15 % nos valores de microdureza mensurados.

Sob a condição mais severa de penetração de trabalho (ae = 25 µm) houve uma maior variação nos valores de microdureza, em relação à de referência do material (537 HV) sendo que a distância abaixo da superfície retificada foi de 210 µm, 100 µm a mais do que o verificado nas amostras de VP420 retificadas a uma condição mais branda de penetração de trabalho (ae = 10 µm).

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. Agradecem também a todos os integrantes do Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem e Laboratório de Usinagem Convencional, da FEMEC - Universidade Federal de Uberlândia. Os autores agradecem ainda a CAPES e a FAPEMIG pelo apoio financeiro concedido ao projeto. Um dos autores agradece em especial ao CNPq pelo apoio por meio de bolsa de Produtividade em Pesquisa – PQ – 2016, processo no. 311337/2016-3, pois este trabalho relaciona-se a um dos subprojetos do projeto da bolsa.

REFERÊNCIAS

Fathallah, B. B., Fredj, N. B., Sidhom, H., Braham, C., Ichida, Y., 2009, “Effects of abrasive

type cooling mode and peripheral grinding wheel speed on the AISI D2 steel ground surface integrity”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 49, pp. 261 – 272.

Jackson, M. J., Davim, J. P., 2011, “Machining with abrasives”, Ed. Springer, N. York, 439 p.

Klocke, F., 2009, “Manufacturing process 2: grinding, honing, lapping”, Ed. Springer, N. York, 452 p.

Malkin, S., Guo, C., 2008, “Grinding Technology: theory and applications of machining with abrasives”, Ed. Industrial Press, Vol. 2, N. York, 372 p.

Manimaran, G., Kumar, M. P., 2013, “Effect of cryogenic cooling and sol-gel alumina wheelon grinding performance of AISI 316 stainless steel”, *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, Vol. 605, pp. 304 – 312.

Marinescu, I. D., Hitchiner, M., Uhlmann, E., Rowe, W. B., Inasaki, I., 2016, “Handbook of machining with grinding wheels”, Ed. CRC Press Taylor & Francis group, Vol. 1, N. York, 752 p.

Outokumpu., 2013, “Handbook of Stainless Steel”, Ed. Outokumpu, Suécia, 92 p.

Prieto, G., Ipiña, J. E. P., Tuckart, W. P., 2014, “Cryogenic treatments and Mechanical properties”, *Material Science & Engineering A*, Vol. 605, pp. 236 – 243.

Rowe, W. B., 2014, *Principles of Modern Grinding Technology*, 2^a ed, Elsevier Inc., 444p. Villares Metals. 2014. *Catálogo: Aços inoxidáveis*. Villares Metals, 11p.

Zhou, N., Peng, R. L., Pettersson, R., 2017, “Surface characterization of austenitic stainless steel 304L after different grinding operations”, *International Journal of Mechanical and Materials Engineering A*, Vol. 658, pp. 50 – 59.