

Avaliação da Integridade Superficial do Aço N2711 após a Retificação com Rebolo de Óxido de Alumínio

Henrique Butzlaff Hübner*, Rosemar Batista da Silva, Marcus Antônio Viana Duarte, Fabio Isaac Ferreira, Eduardo Carlos Bianchi, Fabrício Guimarães Baptista, Paulo Roberto de Aguiar

*LEPU – Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem, hubner12@hotmail.com

Palavras-chave

Retificação, Penetração de trabalho, aço N2711, integridade da superfície, danos térmicos.

1. INTRODUÇÃO

A rugosidade R_a é um dos principais parâmetros para avaliar a qualidade de um componente, uma vez que a resistência à fadiga, à corrosão e à fluência, como também o aspecto estético dos componentes manufaturados está atrelado a este parâmetro. Huang e Chen (2003) relatam ainda que ela é uma variável de saída bastante utilizada como critério de rejeição de um lote de peças e de parada para troca de ferramenta, portanto de grande importância para indústria metal mecânica.

Há vários processos de fabricação por usinagem que podem ser empregados quando se almeja obter produtos com um bom grau de acabamento. Dentre eles citam-se o torneamento e o fresamento. Entretanto, quando se deseja produzir peças com baixas rugosidades ($R_a < 1,6 \mu\text{m}$) aliadas a tolerâncias dimensionais estreitas (qualidade de trabalho IT6 a IT3), uma opção é empregar o processo de retificação (Malkin, 2008).

A retificação é classificada como um processo de usinagem mecânico no qual a remoção de material é feita através do contato de uma ferramenta abrasiva (rebolo) com a peça (Malkin, 2008). Mas assim como todos os processos de usinagem, ela também apresenta desafios e desvantagens. Uma desvantagem é o fato de utilizar grande quantidade de energia para remover pequeno volume de material da peça (devido às pequenas dimensões das partículas abrasivas do rebolo que limitam os valores de penetração de trabalho) e caracterizam este processo como de baixa eficiência. Esta energia é em sua maior parte dissipada em forma de calor e, dependendo do tipo de abrasivo do rebolo, cerca de 80% pode ser direcionada para a peça. Isto faz com que vários materiais metálicos fabricados por esse processo estejam suscetíveis a danos térmicos, tais como a formação de óxidos, trincas superficiais, o revenimento excessivo e a formação de estruturas martensíticas não revenidas (Oliveira *et al.*, 2011).

Conforme Marchi (2015), a formação de estruturas martensíticas não revenidas é acompanhada geralmente de uma tendência de aumento de dureza superficial e ocorre quando a temperatura crítica ($\sim 720^\circ\text{C}$) é ultrapassada na zona de contato da peça com o rebolo. Quando a temperatura crítica não é atingida na zona de contato da peça com o rebolo, normalmente há uma queda de dureza superficial devido ao revenimento.

Nesse contexto, este trabalho avalia a influência dos parâmetros de entrada penetração de trabalho (a_e) e velocidade da peça (v_w) nas rugosidades e na ocorrência de danos térmicos em superfícies obtidas pelo processo de retificação plana. O material utilizado para estudo foi um aço bastante comum na fabricação de moldes e matrizes e considerado muito suscetível a ocorrência de danos térmicos, no caso, o aço N2711 (dureza ~ 400 HV).

A seguir, na Seção 2, serão detalhados os materiais e métodos que foram empregados, na Seção 3 será apresentado os resultados obtidos, e por fim, na seção 4, serão apresentadas as principais conclusões deste trabalho.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para determinar a influência dos parâmetros de entrada na integridade superficial do aço N2711 foram utilizadas amostras com as seguintes dimensões: 60 mm de comprimento por 14 mm de largura e por 15 mm de altura. No total, foram realizados quatro ensaios usando dois valores de penetrações de trabalho ($10 \mu\text{m}$ e $30 \mu\text{m}$) e dois valores de velocidade da peça (6,8 m/min e 10 m/min).

Os ensaios de retificação foram realizados em uma retificadora plana tangencial Mello, modelo P36, com potência de 3 HP e com 2400 rpm. O rebolo utilizado foi de óxido de alumínio (especificação AA46K8V). Utilizou-se o fluido semissintético Vasco 7000, na proporção de 1 parte de óleo para 15 partes de água, que foi aplicado de forma abundante na região de corte por meio de um bocal do tipo bico de pato à uma vazão de 11 l/min. Antes de cada ensaio, o rebolo foi condicionado usando um dressador do tipo *fliesen*. Adotou-se um grau de recobrimento igual a 6, indicado para operações de acabamento, conforme Malkin (2008).

Para avaliação do parâmetro de saída rugosidade foi empregado um rugosímetro Mitutoyo, modelo SJ-201, com *cut-off* de 0,8 mm e um comprimento de avaliação de 4 mm. Foram realizadas 5 medições de rugosidade para cada superfície usinada, todas no sentido perpendicular ao sentido de avanço do rebolo e igualmente espaçadas ao longo do comprimento da peça.

A avaliação da ocorrência ou não de danos térmicos foi feita por meio da análise do aspecto visual da superfície. Esta análise permite principalmente observar se houve ou não formação de óxidos. Foi também realizada a análise das superfícies usinadas por meio de imagens obtidas com um microscópio eletrônico de varredura (MEV) no sentido de observar a textura da superfície e se houve presença de trincas. A medição da microdureza da superfície retificada também foi feita por ser uma técnica que fornece indícios da ocorrência de revenimento excessivo ou de formação de estruturas martensíticas provenientes do processo de retificação. A medição de microdureza foi realizada em um microdurômetro Mitutoyo HM - *Hardness Testing Machine*, com aplicação de carga de 980,7 mN por 15 segundos. Foram obtidas 15 medições para cada superfície retificada, conforme a sequência apresentada na Fig. 1. Para as medidas próximas das bordas foi mantida a distância de 1 mm. Posteriormente, foram plotados mapas de distribuição de valores de microdureza usando o software Matlab R2017b.

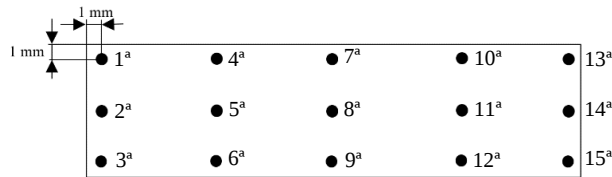


Figura 1. Pontos e sequência de medição de microdureza na superfície das amostras após a retificação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos das medições de rugosidade estão apresentados na Tabela 1. De maneira geral, pode-se observar que, apesar de as faixas dos parâmetros de corte serem amplas, os valores de rugosidade R_a obtidos foram muito próximos uns dos outros, com exceção para a condição considerada mais severa (Ensaio 4) em que foi registrado o maior valor, $R_a = 0,75 \mu\text{m}$. Em geral o aumento da penetração de trabalho (a_e) resultou em deterioração do acabamento. Contudo, todos os valores de R_a são considerados satisfatórios, pois, segundo Diniz *et al.* (2010), a faixa de valores de R_a aceitável para o processo de retificação é de 0,2 a $1,6 \mu\text{m}$. Já para o parâmetro R_t , a média máxima dos valores medidos foi de $10,35 \mu\text{m}$.

Tabela 1: Resultados de rugosidade (R_a e R_t) do aço N2711 após a retificação

Ensaio:	a_e (μm):	v_w (m/min):	Média Aritmética (R_a - μm):	Desvio Padrão (R_a - μm):	Média Aritmética (R_t - μm):	Desvio Padrão (R_t - μm):
1	10	6,8	0,51	0,20	5,90	4,03
2	10	10	0,45	0,09	7,63	3,44
3	30	6,8	0,53	0,07	10,35	2,28
4	30	10	0,75	0,10	9,19	2,22

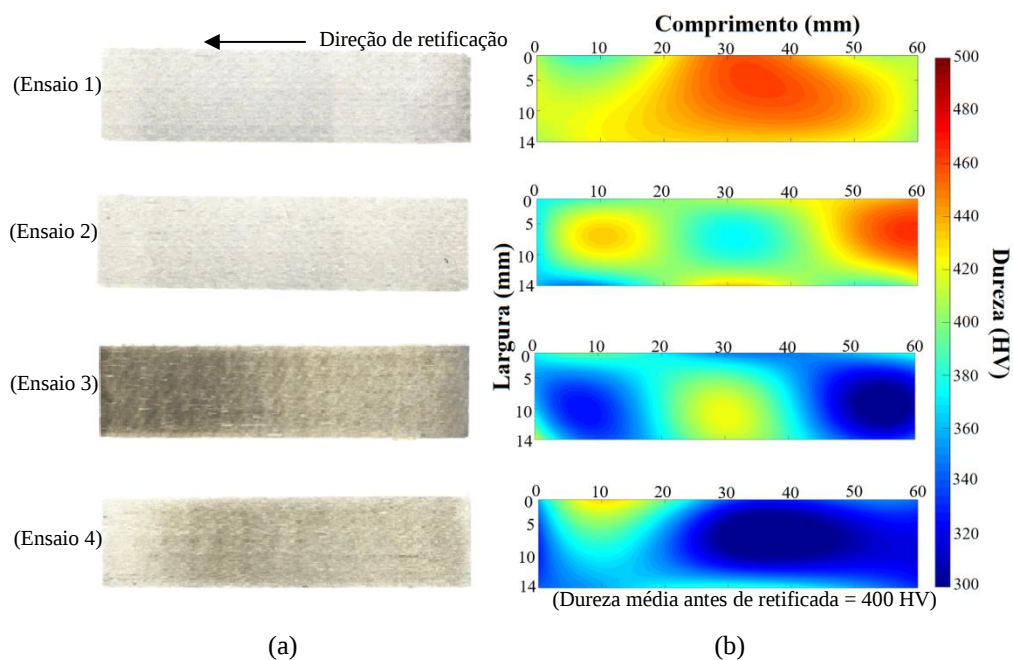


Figura 2: a) Imagens das superfícies retificadas, b) Mapas de distribuição de valores de microdureza

Da Figura 2a, imagens das superfícies retificadas, é possível observar que para o menor valor de penetração de trabalho ($a_e = 10 \mu\text{m}$), ensaios 1 e 2, não houve formação de óxido na superfície do material usinado, diferentemente do ocorrido para aquelas superfícies usinadas com o maior valor ($a_e = 30 \mu\text{m}$), ensaios 3 e 4, onde houve a ocorrência deste problema. No entanto, vale ressaltar que nestes ensaios não foi realizado o movimento de retorno do rebolo sobre a peça (*spark out*), o que poderia ter contribuído para a remoção da camada de óxido das superfícies retificadas.

Observando os mapas de distribuição de valores de microdureza das superfícies retificadas (Figura 2 b), constata-se que para os casos em que foram empregadas a menor penetração de trabalho (ensaios 1 e 2), esta variável de saída se manteve praticamente inalterada, em torno de 400 HV. Para os casos em que se empregou a maior penetração de trabalho (ensaios 3 e 4), houve uma queda da dureza superficial, podendo-se observar regiões em que a dureza obtida foi em torno de 300 HV, ou seja, bem inferior ao valor de referência (núcleo da amostra medido antes da usinagem $\sim 400 \text{ HV}$), de forma que se pode inferir que houve revenimento da superfície durante a retificação. Constata-se ainda, que quando se varia a velocidade da peça e mantém-se a penetração de trabalho constante, como por exemplo, comparando o ensaio 1 com o ensaio 2, praticamente não há diferenças entre as durezas medidas.

Nas Figs. 3a-d são mostradas as imagens das superfícies usinadas nas diferentes condições de corte, obtidas com auxílio do MEV. Nota-se ao empregar menor penetração de trabalho ($a_e = 10 \mu\text{m}$, ensaios 1 e 2), a textura apresenta melhor aspecto que aquelas que foram usinadas com maior penetração de trabalho ($a_e = 30 \mu\text{m}$, ensaios 3 e 4), e que as marcas deixadas pelos grãos abrasivos nelas estão mais definidas e com menor evidência de deformação plástica na superfície. No entanto, para todas as imagens obtidas não se observa a presença de trincas superficiais.

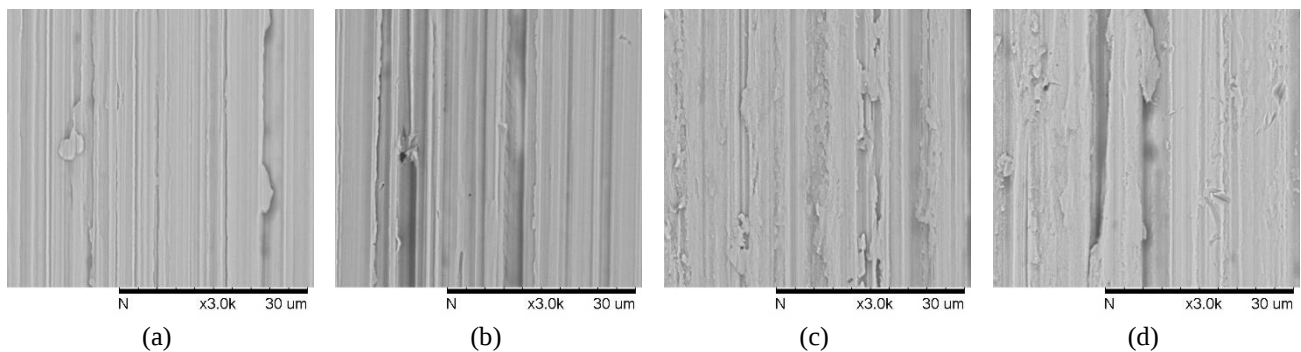


Figura 3: Imagens das superfícies do Aço N2711 após a retificação: a) Ensaio 1, b) Ensaio 2, c) Ensaio 3 e d) Ensaio 4

4. CONCLUSÕES

Os valores de rugosidade R_a foram compatíveis com o processo de retificação sendo que o maior valor, $R_a = 0,75 \mu\text{m}$, foi obtido após a usinagem na condição mais severa. Em termos de danos térmicos, houve a formação de óxido acompanhado de queda da dureza superficial quando se empregou a maior penetração de trabalho ($a_e = 30 \mu\text{m}$), entretanto, com a ausência de trincas na superfície do material retificado. Com base na medição da dureza superficial, a usinagem com a maior penetração de trabalho resultou em um possível revenimento da superfície retificada.

5. REFERÊNCIAS

- Diniz, A.E., Marcondes, F.C., Coppini, L.L., “Tecnologia da Usinagem dos Materiais”. 7. ed., São Paulo: Art. Liber, 2010, 268p.
- Huang, B., Chen, J. C., “An in-process neural network-based surface roughness prediction system using a dynamometer in end milling operations”, *The Int. Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 21, 2003, pp. 339-347.
- Malkin, S., “Grinding Technology: theory and applications of machining with abrasives”, 2.ed., Industrial Press, New York, 2008, 372 p.
- Marchi, M., Baptista, F.G., Aguiar, P.R., Bianchi, E.C., “Grinding process monitoring based on electromechanical impedance measurements”, *Measurement Science and Technology*, v. 26, no. 4, 2015, 9 p.
- Oliveira, D.J., Guermandi, L.G., Pereira, M.G., Bianchi, E.C., Diniz, A.E., Aguiar, P.R., “Aprimoramento das condições de lubri-refrigeração na retificação de aços endurecidos”, 6º COBEF, Caxias do Sul, RS, Brasil, 2011.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, à FAPEMIG e ao Prog. de Pós Grad. em Eng. Mec. da UFU; à Blaser Swisslube pelo fluido de corte. Um dos autores agradece ao CNPq, pelo apoio por meio de bolsa de Produtividade em Pesquisa, processo no. 311337/2016-3, e à CAPES pelo apoio financeiro via bolsa de pós-doutorado - PNPD, na FEB-UNESP-BAURU (2016-2017).

7. DIREITOS AUTORAIS

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