



RETIFICAÇÃO DO AÇO RÁPIDO ABNT M6 COM REBOLOS DE NITRETO DE BORO CÚBICO (CBN) E ÓXIDO DE ALUMÍNIO (Al_2O_3).

João Cirilo da Silva Neto

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica - FEMEC, Campus Santa Mônica, jcirilos@mecanica.ufu.br, Uberlândia, MG, Brasil

Marcio Bacci da Silva

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica - FEMEC, Campus Santa Mônica, mbacci@mecanica.ufu.br, Uberlândia, MG, Brasil

Resumo. *Este trabalho apresenta os resultados da retificação do aço rápido ABNT M6 com rebolos de CBN e Al_2O_3 , utilizando uma retificadora hidráulica universal. Durante os ensaios ficou comprovada a superioridade do superabrasivo de CBN sobre o Al_2O_3 na retificação do aço rápido. Pelos resultados obtidos pode-se concluir que o rebolo de CBN superou o de Al_2O_3 nos principais aspectos: menor comprimento de queima na peça; melhor acabamento superficial; menos danos térmicos; menor produção de rebarbas; além de propiciar maior estabilidade durante a retificação e apresentar maior taxa de remoção de material (TRM), sem a necessidade de dressagens constantes.*

Palavras-chave: *Retificação, Aço Rápido, CBN, Al_2O_3 .*

1. INTRODUÇÃO

Sendo a retificação um processo de usinagem por abrasão pela ação mecânica do rebolo sobre a peça, altas temperaturas são geradas na zona de retificação que podem causar vários danos térmicos à peça. Estes danos térmicos podem ser maiores quando materiais muito resistentes são retificados ou quando são usadas altas taxas de remoção com rebolos convencionais.

A introdução de superabrasivos à base de CBN ofereceu à indústria metal-mecânica condições de usinagem mais severas em materiais ferrosos, ligas de níquel e cobalto e aços super-ligados, entre outros (Pung, 1988). A principal vantagem do CBN sobre os abrasivos convencionais é a sua dureza, aliada à alta condutibilidade térmica, que é 240 W(mK)^{-1} se comparada, por exemplo, com a do Al_2O_3 que é 37 W(mK)^{-1} , Rowe (1996). De acordo com Shaw (1997), devido a estas características há uma diferença na distribuição de energia para a peça em função do rebolo utilizado. Neste caso a peça usinada com CBN sofre menos riscos de danos térmicos que aquela usinada com Al_2O_3 , porque a energia transmitida para a peça usando o CBN é menor.

Em um trabalho, Bianchi (1999) mostrou que na retificação de materiais difíceis de serem usinados os rebolos convencionais perdem a capacidade de corte rapidamente, o que resulta em valores elevados das forças de corte e de temperatura, além da redução da taxa de remoção de material. Isto pode afetar a rugosidade e tolerâncias geométrica e dimensional das peças. De maneira oposta, os rebolos de CBN têm a capacidade de corte mais prolongada devido a maior agressividade. Conforme citado anteriormente, sua alta condutibilidade térmica colabora no sentido de reduzir a elevação descontrolada de calor, reduzindo a possibilidade de causar danos metalúrgicos à peça.

Por outro lado, a principal desvantagem do CBN é seu alto custo. Nas mesmas condições dimensionais, um rebole de CBN com liga metálica, como o utilizado neste trabalho, pode ter um custo de até vinte vezes maior que o Al_2O_3 , porém a relação custo/benefício é maior com CBN.

O objetivo principal deste trabalho é mostrar os resultados da retificação do aço rápido ABNT M6, utilizando rebolos de CBN e Al_2O_3 , na operação de retificação plana tangencial de mergulho. Para tanto, foram avaliados os seguintes aspectos: o comportamento da corrente elétrica (I) do motor do cabeçote porta-rebolo, a taxa de remoção de material (TRM), a rugosidade média, a formação de rebarbas, o comprimento de queima, o desgaste dos rebolos e a estabilidade da retificadora em função do rebole utilizado.

2. METODOLOGIA

Para elaboração deste trabalho foi feita uma revisão bibliográfica detalhando as particularidades do processo de retificação, visto que existem grande variação entre as características dos processos superabrasivo e convencional. No caso da retificação com CBN utilizou-se uma velocidade de corte bem menor que aquela especificada pelo fabricante, pois tentou-se aproximar tal velocidade da velocidade máxima permitida para o Al_2O_3 . Além disso, a alteração dos diâmetros das polias, para mudança da velocidade periférica do rebole, demandaria de mais recursos que não foram disponibilizados para este fim. Portanto, utilizou-se a velocidade de corte de 25 m/s para o CBN porque não foi possível naquela oportunidade alterar a estrutura da retificadora, também tal rebole seria utilizado em outra pesquisa naquela condição.

A escolha da velocidade de avanço de mergulho dos rebolos, bem como a dos demais parâmetros, foi feita em função da segurança da operação, pois a mesma é muito agressiva. Portanto, no caso da utilização do Al_2O_3 não foi possível aplicar a velocidade máxima disponível no equipamento. Porém com CBN este procedimento foi possível e executado somente para mostrar a capacidade de corte do mesmo e a evolução da TRM. Após a escolha dos parâmetros foram realizados ensaios experimentais em barras aço rápido ABNT M6, sendo executados oito testes com CBN e seis com Al_2O_3 , para verificar a qualidade da superfície gerada. Finalmente, foram realizados os resultados e as discussões e as conclusões.

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Neste trabalho foi utilizada uma retificadora cilíndrica universal, da qual foram retirados a contra-ponta e o dispositivo de retificação interna. Além disto, foi dado uma inclinação de 90° no cabeçote porta-peça para viabilizar a operação. A Figura 1 mostra o esquema simplificado para a operação da retificadora, onde o rebole (6) tem rotação constante e se aproxima da peça (4) com um avanço de mergulho também constante. A ação do rebole contra a peça retira uma quantidade de material determinada, formando um arco de contato na superfície frontal da peça a ser examinada.

A peça a ser usinada é uma barra de seção circular de aço rápido ABNT M6, $\phi = 8 \text{ mm}$ x 75 mm, com a seguinte composição química: Co = 12%; Cr = 4,25%; Mo = 5 %; W = 6,2%; V = 1,9%; C = 0,9% e dureza = 62 a 64 HRc.

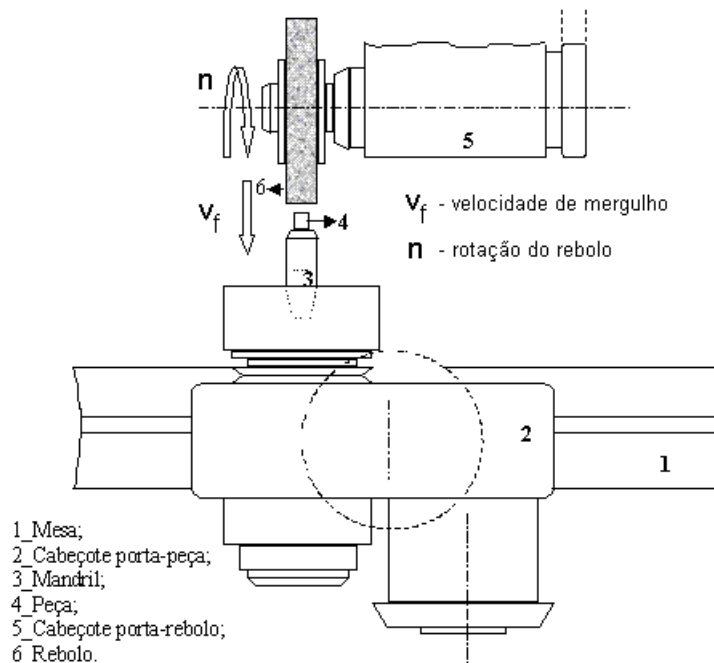


Figura 1-Esquema simplificado da montagem da retificadora para execução dos ensaios de retificação

Conforme Silva Neto (1999), a escolha do material foi feita em função das dificuldades de se usinar o aço rápido com abrasivos convencionais, pois este material é ainda utilizado como ferramenta de corte que geralmente precisa ser afiada. Com isso, foi possível mostrar a diferença do comportamento dos rebolos de CBN e Al_2O_3 , cujas especificações, conforme a NBR 6166 da ABNT (1995), são: CBN 150 N 7M, $\phi = 250 \text{ mm}$, largura = 10 mm, aglomerante e abrasivo metálicos; $\text{Al}_2\text{O}_3 = \text{AA 60 K 6V}$, $\phi = 350 \text{ mm}$, largura = 35 mm. Ambos os rebolos trabalharam com uma rotação de 1850 RPM e suas velocidades periféricas são de 25 m/s para o CBN, mesmo sabendo que esta é incompatível para tal superabrasivo, conforme citado na metodologia e 33 m/s para o Al_2O_3 .

A peça é presa por um mandril de 16 mm no cabeçote porta-peça que, por motivos operacionais fica parado durante as operações. O comprimento da peça foi determinado pela sua distância em relação à face frontal do rebolo e também em função do curso total do cabeçote porta-rebolo. Neste trabalho foram realizados 14 ensaios de laboratório, sendo 6 ensaios com Al_2O_3 e 8 ensaios com CBN.

Como refrigerante foi utilizado óleo solúvel a 5% com uma vazão de 7 l/min. Por questões de segurança da operação, não foi possível usar os valores extremos de velocidades de avanço do rebolo quando usinou-se o aço rápido com Al_2O_3 . O valor máximo utilizado nesta operação foi $V_f = 1,23 \text{ mm/min}$, ao contrário da operação com CBN, na foi possível usar o valor máximo de velocidade de avanço rebolo, ou seja, $V_f = 2,24 \text{ mm/min}$. Foram escolhidas 5 velocidades de avanço, variando de 0,36 a 1,23 mm/min, uma para cada rebolo, nos testes para comparação da TRM.

Os parâmetros de saída avaliados neste trabalho foram a TRM, a variação da corrente elétrica do motor do cabeçote porta-rebolo, observação visual da peça na zona afetada pelo

calor na operação, o comportamento da retificadora, o comprimento de queima, além da observação do aspecto geral da superfície gerada pelos rebolos na amostra, a rugosidade média e o desgaste dos rebolos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos são apresentados em forma de tabelas, gráficos, fotos e observações do processo de retificação durante as operações. Embora, não tenham sido avaliadas as forças de corte (apesar da importância das mesmas na avaliação do processo) pela medição da corrente elétrica do motor do cabeçote porta-rebolo pode-se observar que mesmo sem medidas, na retificação com Al_2O_3 pareceram maiores que com CBN, devido à instabilidade da operação e às trepidações da retificadora.

Em todos os testes com CBN, a corrente elétrica do motor do cabeçote porta-rebolo foi praticamente constante. Houve pouca variação nos regimes em vazio e em trabalho, exatamente o contrário do ocorrido com Al_2O_3 . Este teste foi feito usando a mesma velocidade de avanço para ambos rebolos. Para avaliar o comportamento da corrente foram feitas dez medições, registradas para cada volta completa do anel graduado do avanço automático do rebolo, que corresponde a 1 mm, num comprimento de retificação de 10 mm.

A Figura 2 mostra o gráfico do comportamento da corrente elétrica do motor do cabeçote porta-rebolo na retificação do aço rápido com rebolos de CBN e Al_2O_3 .

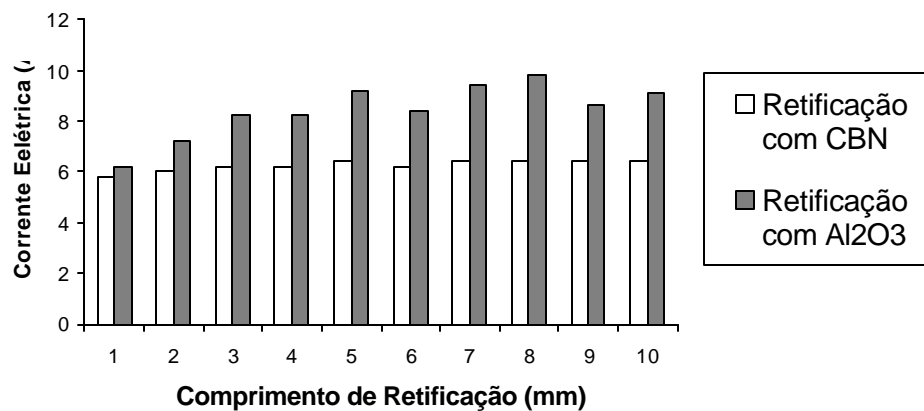


Figura 2- Comportamento da corrente do motor do cabeçote porta-rebolo durante a retificação do aço rápido com rebolos de CBN e Al_2O_3 .

A tendência de estabilidade da corrente com CBN pode ser atribuída à agressividade deste abrasivo. Após o contato com a peça, houve pequeno aumento da corrente, que se manteve praticamente constante durante os ensaios. Entretanto, com Al_2O_3 esta tendência não foi confirmada, houve picos de correntes em todos os comprimentos retificados, que podem ser atribuídos à variação das forças de cortes, em função das dificuldades encontradas pelo rebolo em arrancar o material da peça. Outro resultado importante verificado durante os ensaios foi o comportamento da retificadora em função do tipo de rebolo. Na retificação do aço rápido com CBN não se notou aumento do ruído no contato rebolo-peça e não houve aumento considerável das trepidações do sistema. No entanto, quando se usinou o aço rápido com Al_2O_3 , usando as mesmas condições de corte, houve um aumento acentuado das

trepidações durante a operação. Além disso, por motivos de segurança na execução dos ensaios, reduziu-se a velocidade de avanço do rebolo em apenas 50% de sua capacidade, pois a peça penetrava na face frontal do rebolo com risco de parti-lo ao meio. Com CBN foi utilizada a velocidade de avanço máxima do equipamento sem afetar a segurança da operação.

Em função da alta dureza do abrasivo de CBN (Nussbaum, 1988), se comparada com a de rebolos convencionais, durante os ensaios ficou confirmada a superioridade de resistência ao desgaste do rebolo do CBN sobre o Al_2O_3 , pois após 75,32 minutos de retificação com CBN o mesmo não sofreu nenhuma redução de sua massa, que foi verificada numa balança de precisão. Por motivos operacionais, pois foi feita uma dressagem antes da pesagem, o desgaste do rebolo de Al_2O_3 não foi medido, mas após cada operação podia-se ver nitidamente a formação profundos sulcos na aresta frontal do rebolo, que caracterizaram-se como desgaste excessivo na área de corte em contato com a peça.

Para encontrar a TRM, que foi calculada pela relação entre volume de material usinado no intervalo de tempo e para efeito de comparação, foram escolhidas cinco velocidades no avanço automático do rebolo. Além disso, para o CBN foram escolhidas mais quatro velocidades do rebolo apenas com objetivo de avaliar a evolução da TRM. Dos resultados obtidos notou-se que a TRM, utilizando CBN, foi maior em todos os valores de velocidade escolhidos em comparação com Al_2O_3 . Entretanto, este aumento não foi expressivo em termos percentuais de um processo para outro. A Figura 3 mostra os resultados da TRM em função da velocidade dos rebolos.

Pode-se notar ainda que com ambos os rebolos a TRM aumentou com o acréscimo da velocidade de avanço do rebolo.

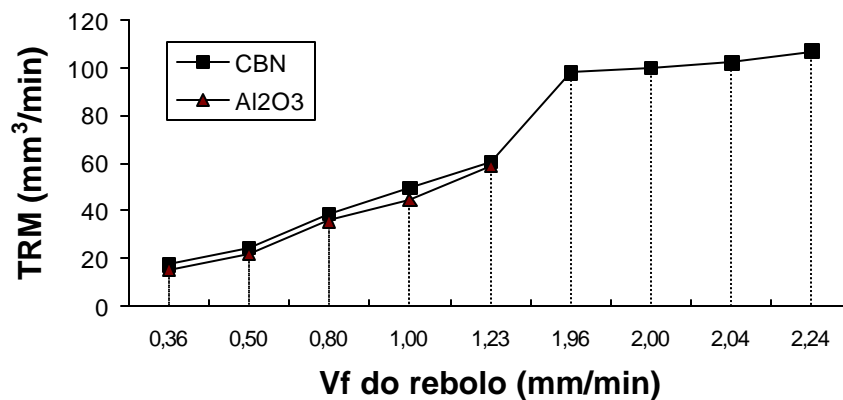


Figura 3- TRM em função da velocidade de avanço dos rebolos

Durante a retificação com Al_2O_3 , notou-se nitidamente que as amostras apresentaram cores alaranjadas na zona de retificação que evidenciaram altas temperaturas. Foi observado em todas as peças um comprimento de queima de aproximadamente 5 mm, devido a estas altas temperaturas geradas no contato rebolo-peça. Entretanto, com CBN somente na condição extrema de velocidade de avanço do rebolo ($V_f = 2,24$ mm/min) ocorreu um pequeno comprimento de queima na face frontal da peça.. A Figura 4 mostra a queima nas peças em função do rebolo usado.

Nas operações com Al_2O_3 , houve grande formação de rebarbas nas barras de aço rápido, pois o rebolo não conseguiu retirar todo o material, onde notou-se que grande parte deste

material foi somente deslocado de um ponto para outro em função da compressão do rebolo sobre a peça, que provocou um aumento do diâmetro da peça na zona de retificação.



Figura 4- Comparação do comprimento de queima usando CBN e Al_2O_3 .

Contudo, com CBN estes resultados não ocorreram, não houve aumento do diâmetro da barra nem formação acentuada de rebarbas. A Figura 5(a) mostra as rebarbas formadas durante a retificação do aço rápido com Al_2O_3 . Já a Figura 5(b) mostra a superfície frontal usinada da barra, na qual pode-se notar que as peças usinadas com Al_2O_3 apresentam-se mais escuras que aquelas usinadas com CBN, evidenciando queima da superfície, conforme observado por Vieira Jr. et al (1999), quando diz que o calor pode afetar a integridade superficial das peças.

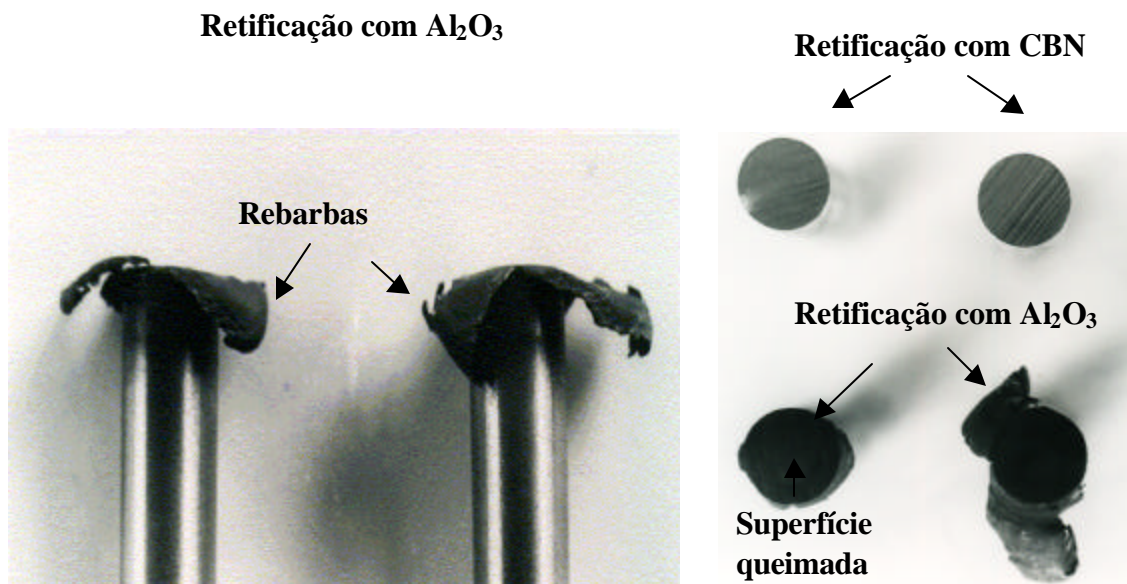


Figura 5 (a) – Formação de rebarbas usando Al_2O_3 à esquerda; (b)Comparação das superfícies geradas usando CBN e Al_2O_3 à direita

Observando a Figura 5 pode-se notar que em todos casos o Al_2O_3 mostrou-se inadequado na retificação do aço rápido neste tipo de operação, quando comparado com CBN, porque a grande formação de rebarbas e o aspecto geral (queima) da superfície retificada por Al_2O_3 justificam a superioridade do CBN.

A retificação do aço rápido com CBN apresentou uma rugosidade média (R_a) de 1,28 μm , enquanto que a rugosidade média (R_a) com Al_2O_3 foi de 1,69 μm . Em ambos casos o apalpamento foi feito perpendicularmente à direção de corte, como sugere a NBR 6405 da ABNT (1988). Apesar da diferença entre os valores da rugosidade não ser expressiva, no caso da retificação com Al_2O_3 , se fossem consideradas as rebarbas esta diferença poderia ser bem maior, pois não foi possível posicionar o apalpador do rugosímetro portátil (Surftest 211) nos pontos onde estas rebarbas estavam concentradas. Estas características podem ser observadas na Figura 5(a) anteriormente citada.

5. CONCLUSÕES

Diante dos resultados encontrados pode-se concluir que:

- O rebolo de CBN superou o de Al_2O_3 em todos parâmetros analisados, ou seja, TRM, R_a , I, formação de rebarbas, comprimento de queima, estabilidade da operação e desgaste dos rebolos.
- Por questões de segurança durante a operação não foi possível trabalhar com o Al_2O_3 nas condições extremas de velocidade de avanço do rebolo.
- O rebolo de Al_2O_3 mostrou ser inadequado para retificação do aço rápido na operação estudada, pois a sua capacidade de remover o material foi limitada se comparada com a do CBN.
- Apesar de não ter sido feita uma análise da integridade superficial das peças, pode-se notar claramente nas amostra retificadas com Al_2O_3 que houve a presença nítida do ataque térmico em função do comprimento de queima.
- Em geral, o rebolo de CBN apresentou boa estabilidade durante as operações, ao contrário do Al_2O_3 que apresentou ruídos característicos, além do aumento considerável das trepidações no eixo do rebolo.

REFERÊNCIAS

- ABNT (1988), NBR 6405, Rugosidade das Superfícies, Rio de Janeiro.
- ABNT (1995), NBR 6166, Ferramentas Abrasivas, Rio de Janeiro.
- Bianchi, E. C. , Fernandes, O. C., Valarelli, I.D.D. , Silva, E. J., Xavier A. P., Spinelli, J. E., Neves, R.C., Monici, R.D., Gagnin, A. R., Souza, G. F., Alves, A. S., 1999, A Contribuição dos Rebolos Superabrasivos com Ligantes Resinóide e Vitrificado. Revista Máquinas e Metais nº 398, São Paulo, PP- 88 - 113.
- Nussbaum, G. C., 1988 Rebolos e Abrasivos .Tecnologia Básica, Editora Ícone, 503-p , São Paulo.
- Pung, R. C., 1988, Superabrasivos, General Electric C.O. USA.
- Rowe, W. B., Black, S . C . E, Mills, B., 1996, Temperature Control in (CBN) Grinding. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Liverpool, England, pp. 3 87.
- Shaw, M. C., 1997 Energy Conversion in Cutting and Grinding, Arizona State University Tempe, Annals of the CIRP, VOL. 46.

Silva Neto, J.C., 1999, Desenvolvimento de Uma Retificadora Eletroquímica a Partir de Uma Retificadora Cilíndrica Universal, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais.

Vieira Jr, M., Libardi, R., Cancellieri, H. A., Lima, A., 1999, Como o Calor Pode Afetar a Integridade Superficial das Peças, Revistas Máquinas e Metais n° 397, São Paulo, PP- 30.

“ GRINDING OF HIGH SPEED STEEL AISI M6 WITH CUBIC BORON NITRIDE (CBN) AND ALUMINA (Al_2O_3) WHEELS”.

Abstract. *This work presents the results of grinding of high speed steel AISI M6 with CBN and Al_2O_3 wheels, using an universal hydraulic grinding machine. During the tests it was evident the superiority of the CBN on the Al_2O_3 . According the results it can be concluded that CBN is superior to Al_2O_3 in main aspects: smaller burns length in the piece; better surface finish; less thermal damages; smaller burrs production; larger stability during the operation. CBN also presented larger rate of material removal without the need of constant dressing.*

Keywords: *Grinding, High Speed Steel, CBN, Al_2O_3 .*