

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO PROCESSO DE RETIFICAÇÃO DE INSERTOS DE METAL DURO

Luan Augusto de Souza Carreira

Universidade Federal de São Carlos, Rod. Washington Luís km 235, 13565-905, São Carlos/SP, Brasil
luan_carreira@hotmail.com

Pedro Henrique de Souza Barbosa

Amauri Hassui

Universidade Estadual de Campinas, Cidade Universitária "Zeferino Vaz", 13083-970, Campinas/SP, Brasil
peu-barbosa@hotmail.com, ahassui@fem.unicamp.br

Carlos Eiji Hirata Ventura

Universidade Federal de São Carlos, Rod. Washington Luís km 235, 13565-905, São Carlos/SP, Brasil
ventura@ufscar.br

Resumo. Uma parte considerável do consumo de energia e recursos industriais pode ser atribuída a máquinas-ferramenta em geral e retificadoras, em particular. Neste contexto, a velocidade de corte corresponde a um dos principais fatores de influência, já que afeta diretamente a energia específica de corte, os mecanismos de remoção de material e a qualidade superficial da peça. Considerando-se a falta de estudos relacionados ao acabamento de insertos de corte, os quais são preparados por processo de retificação, esta investigação preliminar tem por objetivo avaliar as alterações na energia consumida pela máquina, assim como sua eficiência, com a mudança da velocidade de corte durante a retificação da superfície de folga de insertos de metal duro. A partir dos resultados obtidos, verificou-se que um aumento da velocidade de corte de 12 m/s para 60 m/s levou a uma pequena redução do consumo de energia, mas propiciou um aumento de três vezes da eficiência do processo.

Palavras chave: Retificação. Insertos de corte. Eficiência Energética.

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de suprimento energético aumenta cada vez mais com os avanços tecnológicos, mudanças no estilo de vida da sociedade e novas exigências da indústria. Diante disso, é de suma importância tornar os processos industriais mais sustentáveis, contribuindo para o meio ambiente e reduzindo os custos. Uma parte considerável do consumo de energia e recursos industriais pode ser atribuída à utilização de máquinas-ferramenta em geral e retificadoras, em particular (Hacksteiner et al., 2018).

A retificação é um processo de corte por abrasão, que utiliza ferramentas com arestas de geometria não definida e tem por objetivo principal o acabamento de componentes. Devido à predominância do atrito e da deformação do material, é necessária uma grande quantidade de energia para se remover um pequeno volume, fazendo com que a eficiência da retificação seja muito baixa (Groover, 2014). Dentre os diferentes módulos da máquina, o eixo-árvore e o sistema de alimentação de fluido de corte são os que mais consomem energia (Salonitis, 2015).

Li (2012) mostrou que o aumento da taxa de remoção de material diminui o tempo de processamento e, conseqüentemente, diminui a energia consumida, elevando a eficiência energética da retificação, mas este aumento compromete a qualidade superficial da peça. Salonitis (2015) retificou o material 42CrMo4 tratado termicamente com dois ciclos diferentes e concluiu que o ciclo com menor número de passes reduziu a energia consumida durante o processo. Hacksteiner et al. (2018) demonstraram que melhores valores de eficiência energética foram encontrados para as maiores taxas específicas de remoção de material e maiores velocidades de corte, parâmetros para os quais o tempo de processamento foi diminuído. Nos dois últimos trabalhos citados, constatou-se também que a central de fornecimento e condicionamento de fluido lubrificante é a maior consumidora da energia total do processo. Salonitis (2015) identificou que esta é responsável por 40% do total, enquanto Hacksteiner et al. (2018) obtiveram um valor de 62%.

Diferentes máquinas e tipos de rebolo permitem que a retificação seja aplicada no acabamento de insertos de corte, de modo a aumentar sua vida e a qualidade do produto a ser usinado por ele (Ventura et al., 2014). Por ser tratar de materiais de difícil usinabilidade, faz-se necessário o estudo e determinação das melhores estratégias de retificação. No caso do metal duro, Habrat (2016) cita que sua retificação é problemática devido ao nível elevado de carbonetos duros na estrutura.

O estudo da influência da variação dos parâmetros de corte e tipo de rebolo na retificação de insertos contribui não somente para a melhoria da qualidade do inserto e a diminuição do desgaste da ferramenta, mas também atende às demandas de sustentabilidade e diminuição de custos. No entanto, para este processo especificamente, nenhum trabalho que avaliasse a eficiência energética foi encontrado. Sabendo-se que a variação da velocidade de corte tem influência direta sobre a energia específica de corte, procura-se, neste trabalho preliminar, a partir da aplicação de diferentes níveis desta variável de entrada, uma maior compreensão do comportamento do consumo energético na retificação plana transversal de mergulho, aplicada à fabricação de insertos de metal duro.

2. METODOLOGIA

Superfícies de folga de insertos de metal duro com geometria SNGN 1204- (quadrada, sem preparação de aresta e sem raio de ponta) e composição WC-5%Co foram retificadas com a aplicação de óleo mineral integral em uma retificadora para preparação de insertos Agathon DOM Plus (rotação máxima de 2400 rpm e potência máxima de 16 kW), equipada com um rebolo diamantado (tamanho de grão D46) do tipo copo, com concentração C100 e ligante resinoide, além de um dressador, também do tipo copo, com granulometria 180#, como demonstrado na Fig. 1.

Para a realização dos experimentos, a velocidade de corte foi variada em três níveis ($v_c = 12, 40$ e 60 m/s), enquanto a velocidade de avanço foi mantida constante $v_{fa} = 6$ mm/min. A fim de se evitar efeitos do desgaste do rebolo, este foi dressado antes da retificação de cada inserto com as seguintes condições: velocidade tangencial do dressador $v_{cd} = 10$ m/s, velocidade tangencial do rebolo $v_c = 20$ m/s, velocidade de avanço axial do dressador $v_{fad} = 0,18$ mm/min e percurso de dressagem $l_d = 15$ μ m.

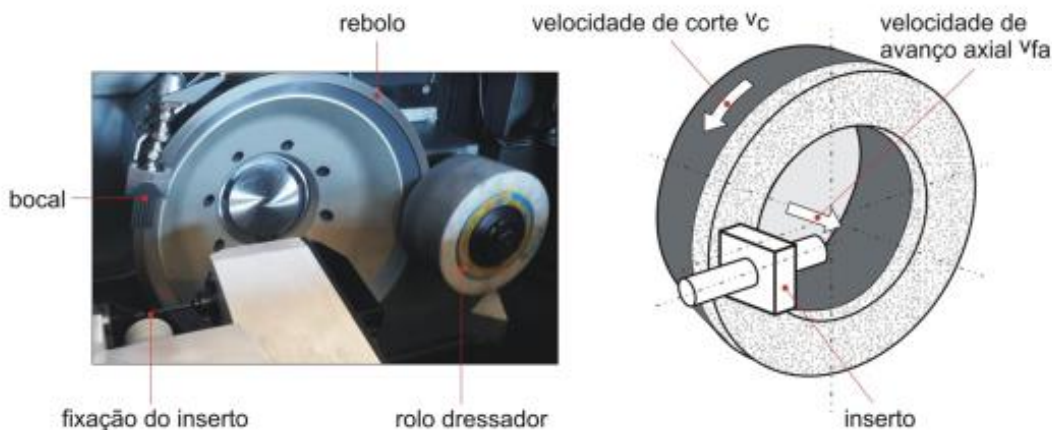


Figura 1. Retificadora de insertos utilizada nos experimentos

Devido o pequeno volume de material removido (~ 23 mm³), cada lado do inserto pôde ser considerado uma repetição do ensaio, para o qual as componentes normal e tangencial da força de retificação foram medidas por meio de um sistema de medição e tratamento de sinais de corrente elétrica (taxa de aquisição de 50 Hz) conectado diretamente aos motores da máquina (maiores detalhes são confidenciais e não foram compartilhados pelo fabricante).

A corrente elétrica consumida pela máquina durante a retificação de cada lado do inserto foi obtida por meio de um sensor de efeito Hall SCT013 (com capacidade de até 100 A) acoplado a uma das fases da alimentação principal da máquina. Este foi ligado a um circuito construído em uma *proto board*, o qual foi conectado a uma placa Arduino MEGA 2560. O sistema pode ser visualizado na Fig. 2.

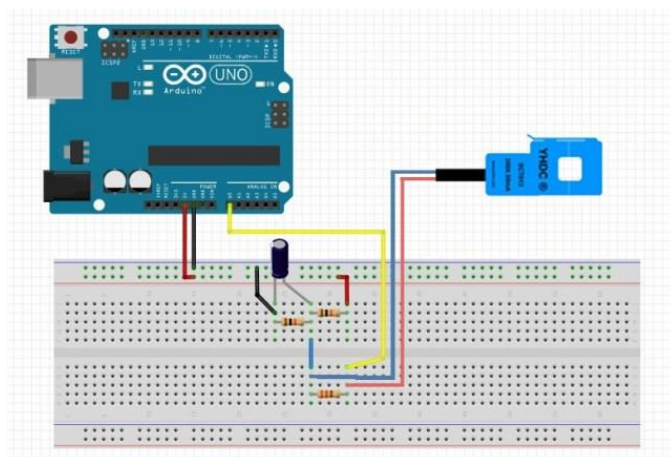


Figura 2. Sistema de medição de corrente (<https://portal.vidadesilicio.com.br/sct-013-sensor-de-corrente-alternada/>)

Valores médios e os desvios-padrão de quatro testes (uma para cada lado do inserto) foram utilizados para análise. A partir deles, pôde-se avaliar não apenas as forças e a potência requerida, mas também a eficiência do processo, por meio da relação entre a potência efetiva (= força de corte $\times$ velocidade de corte) e a potência total consumida (= corrente $\times$ $220 \times \sqrt{3}$).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a retificação de determinado lado, o lado seguinte do inserto passa a apresentar comprimento diferente, assim, para uma análise justa, as forças normal e tangencial foram divididas pela área correspondente. As forças específicas podem ser observadas na Fig. 3.

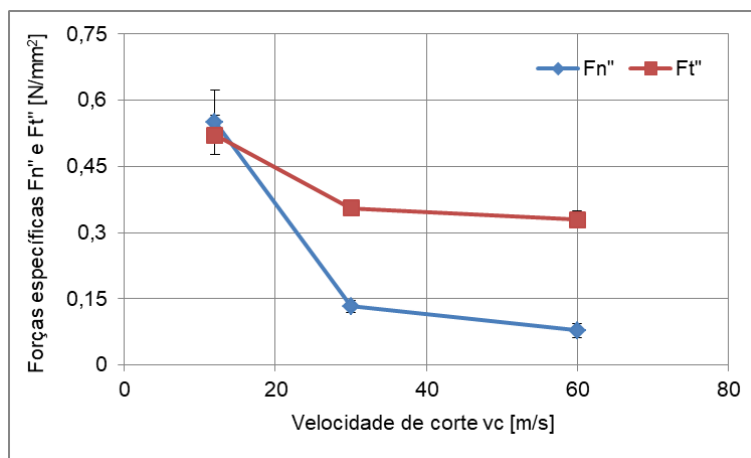


Figura 3. Forças normal e tangencial específicas para diferentes valores de velocidade de corte

Nota-se uma redução de ambas as componentes com o aumento da velocidade de corte, fenômeno relacionado à diminuição da espessura de cavaco por grão, que ocorre devido à cinemática do processo (Cruz et al., 2020). Não havendo variação das condições topográficas do rebolo, a quantidade de arestas ativas é mantida e, com a redução da força por grão, a força total decresce. Nota-se ainda haver uma queda maior para a força normal em comparação à força tangencial, o que indica predominância de cisalhamento e maior eficiência do processo.

Observa-se que, à medida que a velocidade de corte aumenta, a potência total requerida pela máquina diminui, mas em uma escala muito pequena de variação (aproximadamente 80 W), como demonstrado na Fig. 4. Esta pequena alteração no valor se refere ao fato de que a maior parte da potência total é constante e está relacionada ao consumo de energia dos sistemas de controle e monitoramento, iluminação e bombeamento de fluido de corte, enquanto apenas uma parcela reduzida está associada à remoção do material, ou seja, à resistência no contato entre rebolo e inserto.



Figura 4. Potência requerida pela máquina com a aplicação de diferentes velocidades de corte

Dividindo-se a potência efetiva de corte pela potência requerida pela máquina, verifica-se que a eficiência do processo aumenta significativamente com maiores valores de velocidade de corte, como apresentado na Fig. 5. Embora o aumento da velocidade de corte tenha causado redução da espessura de cavaco por grão, maiores temperaturas associadas a este efeito podem ter levado ao amaciamento da matriz de cobalto, reduzindo a dificuldade de penetração do grão e favorecendo o cisalhamento do material, mas de forma não linear. Com isso, a potência relacionada diretamente ao processo de corte se torna proporcionalmente maior em relação à potência total consumida, a qual também diminui de forma não linear (Fig. 4).

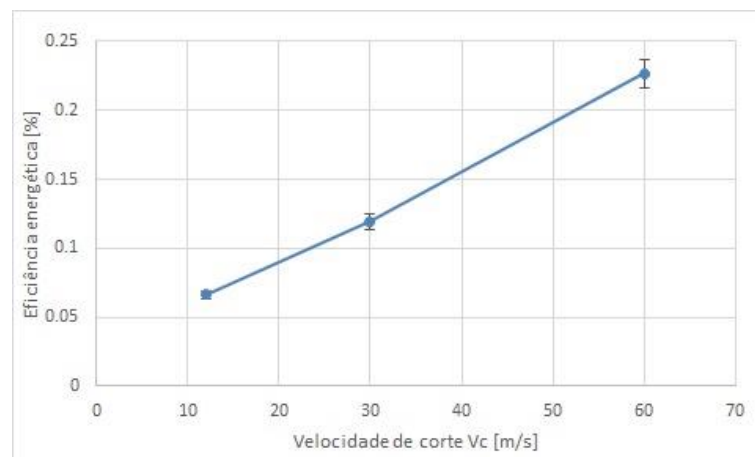


Figura 5. Rendimento energético com a aplicação de diferentes velocidades de corte

Por fim, observa-se que a retificação de insertos de metal duro é um processo com baixa eficiência, sendo grande parte da energia consumida ligada aos periféricos da máquina e não ao processo de corte propriamente dito. O aumento da eficiência se torna possível pela redução não linear da energia consumida durante o processo, o que permite variação da proporção entre a energia de corte e a energia requerida pela máquina.

4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, pôde-se concluir que a retificação de insertos de metal duro nas condições testadas é um processo de baixo rendimento energético (entre 6% e 22%), que pode ser melhorado, porém, a partir da escolha adequada das condições de corte. Notou-se nos experimentos que o aumento da velocidade de corte ocasionou diminuição da potência requerida da rede elétrica pela máquina, devido à redução dos esforços, ligada à diminuição da espessura de cavaco por grão e possível aumento da temperatura na região de corte, que pode ter causado diminuição da resistência do material. Além disso, o aumento da velocidade de 12 m/s para 60 m/s proporcionou um processo três vezes mais eficiente, em função da maior proporção de energia gasta no corte em relação à energia total consumida.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio aos Programas de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFSCar e da UNICAMP. Adicionalmente, agradece-se o suporte financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (processos nº 2015/15622-2 e 2017/12304-5).

6. REFERÊNCIAS

- Cruz, D.C., Sordi, V.L. e Ventura, C.E.H., 2020. "Surface analysis of WC-5%Co cemented tungsten carbide cutting insert after plunge-face grinding". *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 108, p. 323-330.
- Groover, M.P., 2014. *Introdução aos processos de fabricação*. LTC, Rio de Janeiro, 1ª edição.
- Habrat, W.F., 2016. "Effect of bond type and process parameters on grinding force components in grinding of cemented carbide". *Procedia Engineering*, Vol. 149, p. 122-129.
- Hacksteiner, M., Peherstorfer, H. e Bleicher, F., 2018. "Energy efficiency of state-of-the-art grinding processes". *Procedia Manufacturing*, Vol. 21, p. 717-724.
- Li, W., Winter, M., Kara, S., e Herrmann, C., 2012. "Eco-efficiency of manufacturing processes: A grinding case". *CIRP annals*, Vol. 61, p. 59-62.
- Salonitis, K., 2015. "Energy efficiency assessment of grinding strategy". *International Journal of Energy Sector Management*, Vol. 9, p. 20-37.
- Ventura, C.E.H., Köhler, J. e Denkena, B., 2014. "Strategies for grinding of chamfers in cutting inserts". *Precision Engineering*, Vol. 38, p. 749-758.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

Assessment of energy efficiency in grinding of cemented tungsten carbide cutting inserts

Luan Augusto de Souza Carreira

Federal University of São Carlos, Rod. Washington Luís km 235, 13565-905, São Carlos/SP, Brazil
luan_carreira@hotmail.com

Pedro Henrique de Souza Barbosa

Amauri Hassui

Campinas State University, Cidade Universitária "Zeferino Vaz", 13083-970, Campinas/SP, Brazil
peu-barbosa@hotmail.com, ahassui@fem.unicamp.br

Carlos Eiji Hirata Ventura

Federal University of São Carlos, Rod. Washington Luís km 235, 13565-905, São Carlos/SP, Brazil
ventura@ufscar.br

Abstract. A considerable part of the consumption of energy and industrial resources can be generally attributed to machine tools and grinding machines, in particular. Within this context, cutting speed corresponds to one of the main influencing factors, as it directly affects specific cutting energy, material removal mechanisms and surface quality. Considering the lack of studies related to the finishing of cutting inserts, which are prepared by grinding process, this preliminary investigation aims to assess the changes in energy consumption, as well as machine efficiency, with different values of cutting speed while grinding the flank faces of cemented tungsten carbide inserts. From the obtained results, it was found that an increase in cutting speed from 10 m/s to 60 m/s led to a small reduction in energy consumption, but provided a 3-fold increase in process efficiency.

Keywords: Grinding. Cutting inserts. Energy efficiency.

RESPONSIBILITY NOTICE

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