

AVALIAÇÃO DA POTÊNCIA DE RETIFICAÇÃO DE AÇOS PARA MOLDES E MATRIZES COM DIFERENTES TÉCNICAS DE LUBRI- REFRIGERAÇÃO

Cleudes Guimarães

Instituto Federal do Triângulo Mineiro (Campus Ituiutaba) – Rua Belarmino Vilela Junqueira, s/ N° – Bairro: Novo Tempo 2 CEP 38305-200 Ituiutaba – MG tel. (34) 3271-4000; Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Av. João Naves de Ávila, 2121, Bairro: Santa Mônica CEP 38408-014 Uberlândia – MG
cleudes@iftm.edu.br

Armando Marques

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Av. Vitória, 1729, Jucutuquara, Vitória – ES CEP 29040-780
amarques@ifes.edu.br

Luciano Antônio Fernandes

Universidade Federal do Triângulo Mineiro – R. Edmundo Borges de Araújo, 539 – B. São Benedito CEP 38020-600 Uberaba-MG
tel. (34) 3700:6663
luciano.fernandes@uftm.edu.br

Rosemar Batista da Silva

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Av. João Naves de Ávila, 2121, Bairro: Santa Mônica CEP 38408-014 Uberlândia – MG
rosemar.silva@ufu.br

Resumo. Um dos grandes desafios em retificação com abrasivos convencionais é minimizar o calor que é gerado no processo e evitar que o mesmo cause danos à peça. Estima-se que 85% de todo o calor gerado durante a retificação seja transferido para a peça devido à baixa condutividade térmica dos abrasivos convencionais e às pequenas dimensões dos cavacos gerados. Uma forma de contornar este problema é encontrar uma combinação eficiente dos parâmetros de corte. E por meio da potência elétrica do rebolo pode-se avaliar o desempenho do processo e assim selecionar os melhores parâmetros de corte. Neste sentido, esta pesquisa avaliou a potência elétrica instantânea o processo de retificação plana de três aços que são utilizados na fabricação de moldes e matrizes (VP100®, VP ATLAS® e o N2711M) em diferentes condições operacionais. Foram testadas duas técnicas de aplicação de fluido de corte (convencional e mínima quantidade de lubrificação – MQL). Para a técnica MQL foram testadas três vazões. Como parâmetro de corte, foi testada a espessura de corte equivalente foi variada em três níveis. A potência elétrica instantânea aumentou com a espessura de corte para todos os aços. A retificação do aço N2711M exigiu a menor potência elétrica instantânea durante os ensaios, o que pode estar relacionada com a sua maior dureza que altera que favorece a usinagem por abrasão.

Palavras chave: Retificação plana. Aço para moldes e matrizes. Espessura de corte equivalente, Potência instantânea.

1. INTRODUÇÃO

A energia específica de corte no processo de retificação é maior que aquela observada nos processos de usinagem com ferramentas com geometria definida. Esta grandeza é talvez uma das mais importantes para se determinar a eficiência de um processo de retificação sob o aspecto de integridade superficial das peças retificadas. Combinada a outras grandezas, como por exemplo, a potência específica de retificação é um indicativo das condições de queima ou não de uma peça à retificação (Rowe, 2014). Na prática, a energia específica de corte pode ser utilizada para a estimativa da temperatura na superfície ou da potência de corte.

O conhecimento e controle da força de corte na retificação são de extrema importância para a determinação da potência motriz do rebolo e o dimensionamento estrutural da máquina, em geral a força tangencial está entre 25 a 40% da força

normal (Machado et al., 2015). Enquanto a componente tangencial da força fornece informações sobre a potência consumida e a energia necessária para remover uma determinada quantidade de material, a componente normal da força é um indicativo da qualidade da superfície retificada, incluindo os desvios dimensionais e geométricos da mesma.

A retificação em aços altamente ligados e com durezas elevadas, como também com elevado número de carbonetos duros, levam a um rápido desgaste das partículas abrasivas do rebolo, aumentando o consumo de potência da máquina.

Três aços que são utilizados na indústria para fabricação de moldes e de matrizes foram investigados neste trabalho: sendo um aço martensítico denominado N2711M, que é um aço similar ao da Norma DIN 1.2711, um aço bainítico comercialmente conhecido como VP ATLAS, lançado julho de 2013 e sem similar normatizado e que pode concorrer no mercado com os aços DIN 1.2711 e DIN 1.2714 (Vieira, 2020) e por último o aço VP100, também sem similar e que concorre no mercado com AISI P20 (DIN 1.2738 ou 4140).

A demanda por processos ecologicamente corretos, impõem novas exigências e novas soluções, com isto uma promissora solução para a usinagem é a mínima quantidade de lubrificação (MQL) que pode ser aplicada em vários processos tais como: furação, torneamento e fresamento, como também em retificação (Fratila e Caizar, 2011; Obikawa, 2008). No âmbito ecológico e econômico a técnica MQL é uma grande oportunidade de pesquisa uma vez que esta técnica lida com pequenas vazões de fluido de corte que podem variar de 10 a 250 mL/h (Machado et al. 2015), valores bem inferiores aqueles empregados com a técnica convencional, normalmente acima de 5 l/min (300 000 ml/h).

Neste trabalho, a potência foi avaliada durante o processo de retificação plana tangencial dos aços para moldes e matrizes com aplicação de fluido de corte pelas técnicas convencional e mínima quantidade de lubrificação (MQL) e assim permitir identificar parâmetros de corte adequados, considerando a faixa do parâmetro de espessura de corte equivalente testado.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para estudar a potência instantânea com as diferentes atmosferas de retificação de aços endurecidos, empregando duas diferentes técnicas de aplicação de fluido de corte (convencional e MQL) foi proposta a metodologia a seguir.

2.1. Máquina ferramenta

Os ensaios foram realizados em uma retificadora plana tangencial, de semi-precisão, modelo P36, do fabricante MELLO S.A. Ela possui resolução do eixo vertical do rebolo igual a 0,005 mm e rotação constante de 2400 rpm, potência nominal do motor que aciona o eixo-árvore de 2,25 kW e opção de avanço manual ou automático do cabeçote no qual está acoplado o rebolo. Neste trabalho todos os ensaios foram realizados com o avanço manual do cabeçote.

2.2. Rebolos

Neste trabalho foram utilizados tipos de rebolos tipo reto com dimensões de 303 mm diâmetro externo x 25 mm de largura x 76 mm de diâmetro interno do fabricante NORTON – SAINT GOBAIN ABRASIVES, de óxido de alumínio (Al_2O_3) com especificação AA60K6V, fabricado com ligante vitrificado e de dureza média, com granulometria mesh 60, que pela tabela FEPA (Federação Europeia de Produtos Abrasivos) configura o tamanho médio do grão igual a 0,275 mm.

A dressagem foi realizada antes de cada teste e a profundidade de dressagem (ad) = 10 μ m que configurou um grau de recobrimento $Ud=3$, conforme Tabela 2. Como critério de parada dos testes, foi adotada a remoção de 0,12 mm na altura do corpo de prova.

2.3. Materiais dos Corpos de provas

Todos os aços foram fornecidos pela VILLARES METALS S.A (2013), no estado temperado e revenido, com dureza na faixa de (40 – 44,5 HRC). Na Tabela 1 é mostrada a composição química destes aços.

Apesar do aço VP100 apresentar uma quantidade de cromo três vezes menor que do aço VP ATLAS, as durezas deles são similares (40,0 HRC) ou (HV20, 412 kgf/mm²), enquanto o aço N2711M possui uma dureza de 44,5 HRC ou (HV20, 441 kgf/mm²). Durante a preparação das amostras, foi necessária para ajustar as dimensões, a planicidade e o paralelismo entre duas superfícies de maior área da peça.

Tabela 1. Composição química (% em massa) dos materiais investigados nesta pesquisa
(Villares Metals S.A., 2013)

Material	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V
N2711M	0,55	0,32	0,73	0,009	0,007	1,03	0,47	1,55	0,08
VP ATLAS	0,26	0,27	1,53	0,026	0,006	1,78	0,68	0,55	0,08
VP100	0,22	0,40	1,90	0,027	0,002	0,58	0,25	0,40	-

Ao final elas resultaram nas dimensões 48,8 mm de comprimento por 20 mm de largura por 18 mm de altura, sendo que as duas primeiras dimensões correspondem aquela que gerou a superfície utilizada nos ensaios de retificação.

2.4. Parâmetros de corte

Os parâmetros de corte que foram utilizados nos ensaios de retificação dos aços ABNT para moldes e matrizes N2711M®, VP ATLAS® e VP100® são listados na Tab. 2. Estes parâmetros foram mantidos constantes para todos os ensaios e réplicas.

Dos parâmetros operacionais apenas a espessura de corte equivalente (h_{eq}) foi variada para avaliar a influência sobre a potência instantânea. A espessura equivalente de corte (μm), conforme Eq. 1, é definida como sendo a camada de material arrancado pelo rebolo (Machado, 2015) ou a taxa de remoção volumétrica por unidade de área do rebolo que passa pela zona de retificação (Malkin, 2008):

$$h_{eq} = v_w \frac{a_e}{v_s} (\mu\text{m}); \quad (1)$$

Em que:

v_w – velocidade da peça ou da mesa (m/min ou mm/s)

a_e – penetração de trabalho (μm)

v_s – velocidade periférica do rebolo (m/s)

Tabela 2. Resumo dos parâmetros operacionais empregados neste trabalho

Velocidade de corte	$V_s = 38 \text{ m/s}$
Velocidade média longitudinal da mesa	$V_{ML} = 10 \text{ m/min}$
Profundidade de corte (a_p)	0,72 mm/final de curso.
Espessura de corte equivalente (h_{eq}) (μm)	0,09; 0,18 e 0,27
Profundidade de dressagem (a_d) (μm)/grau de recobrimento Ud	10; Ud =3
Vazão do fluido para técnica convencional (inundação) (mL/h)	545.000 Pressão de descarga: $1,2 \times 10^5 \text{ N/m}^2$.
Fluido de corte (sintético)	ME-3 (base vegetal, concentração de 5%).
Vazões do fluido para a técnica MQL (mL/h)	60, 150 e 240
Fluido de corte (Integral)	IORGABIO (base vegetal)

2.5. Potência de corte

As medições da potência elétrica do motor de acionamento do eixo árvore durante a operação de retificação foram obtidas através dos valores de tensão elétrica e corrente elétrica que alimenta e circulam no motor de indução trifásico (2,25 kW de potência nominal), monitorados por dois sensores de efeito Hall em cada fase, um para a tensão elétrica e

outro para a corrente elétrica. Foram monitorados os sinais de potência elétrica apenas para os ensaios com o rebolo de óxido de alumínio por ser este o rebolo recomendado para a retificação de aços e por este ter sido o rebolo empregado nos ensaios preliminares.

Para a medição da corrente elétrica foi empregado um sensor HAS 50-600S que circunda o fio condutor e capta o campo magnético gerado pela passagem da corrente elétrica pelo condutor e converte a informação do campo em tensão elétrica, uma vez que a amplitude da tensão elétrica de Hall é dependente da corrente elétrica e consequentemente do campo magnético gerado. E à medição da tensão elétrica foi usado o sensor LV-20p, que foi colocado em paralelo à diferença de potencial (ddp) que seria medida. Os sinais elétricos captados pelos sensores e transdutores foram convertidos de forma apropriada para o equipamento de aquisição, neste caso um conversor analógico-digital (A/D), sendo que o condicionamento de sinal também foi responsável pela energização do transdutor.

Os sinais de baixa intensidade foram amplificados para melhorar a resolução dos mesmos e reduzir os ruídos, para isto, foi montado um circuito para cada sensor com o uso de amplificadores operacionais, capacitores e resistores. Para a transferência de dados para o computador foi usado um conversor A/D que é um hardware responsável pelas entradas e saídas de sinais em sequência. Para tal, foi utilizada uma placa NI 6001, da *National Instruments*, que converte o sinal analógico em digital a uma taxa de aquisição de 20 kS/s, dividido em 6 canais e 12 bits. Para o tratamento dos sinais foi utilizado um *Software LabView*, da empresa *National Instruments*.

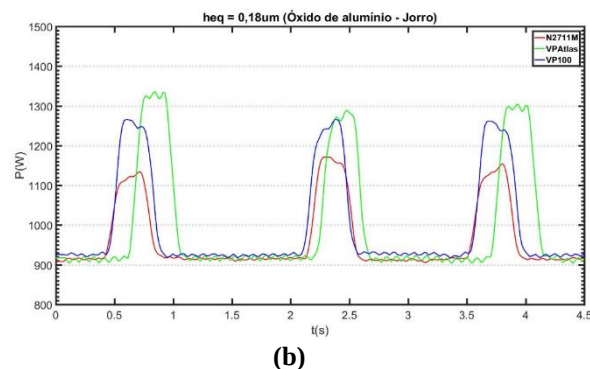
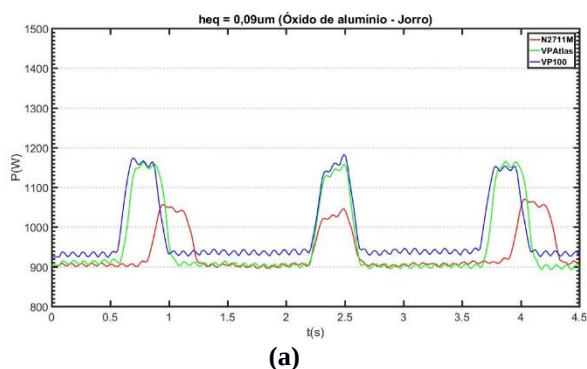
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

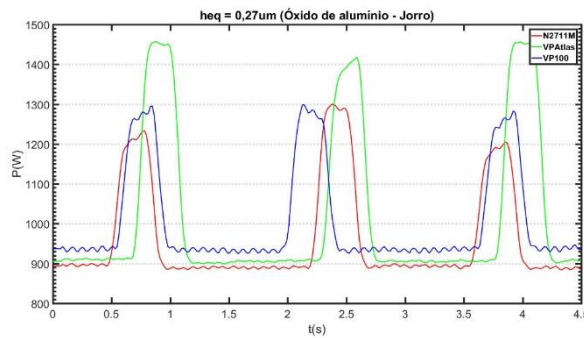
Na Figura 1 são apresentados os resultados de potência instantânea obtida após a retificação dos três aços com a técnica convencional para os três valores de espessuras de corte equivalente. O aumento dos esforços de corte em função da elevação dos valores das espessuras de corte equivalente implicou em maior demanda por energia do motor da máquina ferramenta.

Os valores iniciam por volta de 900 W, ponto de acionamento do rebolo sem carga atuante (máquina operando em vazio). Ao entrar em contato com a peça a demanda por potência aumenta de forma abrupta e logo se mantém por cerca 0,5 s, o que define o tempo de contato entre rebolo e peça. Após esta fase referente à retificação de fato, observa-se uma queda acentuada da potência, indicando a redução do comprimento de contato, finalizando meio ciclo, que poderá ser concordante ou discordante.

Observa-se em geral que os valores de potência foram menores para o aço N2711M, enquanto que para os outros aços os valores situam-se bem próximos para valores de espessura de corte equivalente inferiores de $0,27 \mu\text{m}$. Os maiores valores foram observados após a usinagem do aço VP ATLAS nas condições mais severas de usinagem.

Estes resultados podem estar relacionados com a dureza do material, uma vez que, a dureza do N2711M é superior a dos demais aços avaliados. Embora o aumento na espessura de corte equivalente favoreça a redução da energia específica para o corte, entende-se que a energia total do processo é uma combinação de forças de corte e de sulcamento elevando a força de arraste sobre o rebolo no qual leva ao aumento da potência instantânea.





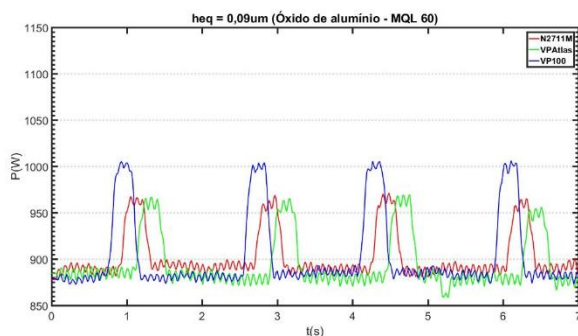
(c)

Figura 1 – Potência instantânea de retificação com a progressão da usinagem para os diferentes aços após a usinagem com técnica convencional de aplicação de fluido de corte para diferentes espessuras de corte equivalente: (a) $heq = 0,09 \mu m$, (b) $heq = 0,18 \mu m$ e (c) $heq = 0,27 \mu m$.

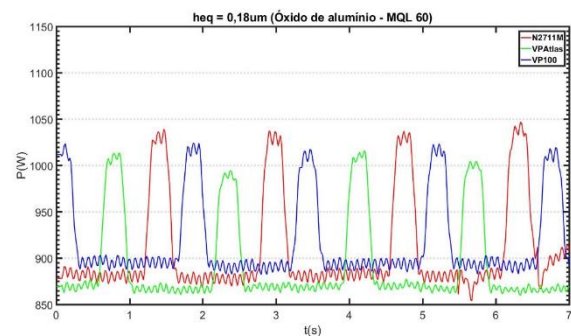
Na Figura 2 são apresentados os resultados de potência instantânea obtida após a retificação dos três aços com a técnica MQL para as três espessuras de corte equivalente. Dentre as vazões empregadas na técnica MQL, a menor vazão testada igual a 60 mL/h foi aquela que proporcionou as menores potências de corte, independentemente do material e da espessura de corte equivalente empregados. Por outro lado, a usinagem com a técnica de aplicação de fluido convencional proporcionou valores próximos aos valores da técnica MQL para a maior vazão com a maior espessura de corte equivalente, o que indica melhor lubrificidade com a técnica MQL que, por sua vez, exige menores esforços para o corte, consequentemente implicando em menor potência de corte. O aumento da quantidade de fluido na técnica MQL em geral não proporcionou bons resultados de potência instantânea.

Sabe-se que nem toda vazão entregue ao processo tem acesso a zona de retificação, apesar que, o aumento da mesma aumenta a quantidade de fluido na zona de retificação, porém, a consequência é a geração de força passiva, devido a força hidrodinâmica entre o rebolo e a peça (Malkin, 2008). Ao se empregar a técnica MQL, ocorreu uma redução da potência de corte, sugerindo que há predominância da função lubrificante proporcionada pelo óleo aplicado pela técnica MQL na região de corte. Esta melhoria nas condições tribológicas contribui para a manutenção das características de boa afiação do rebolo após a dressagem (Figura 2 (a), a (f)) que por sua vez implica em menores esforços, refletindo em menor potência instantânea.

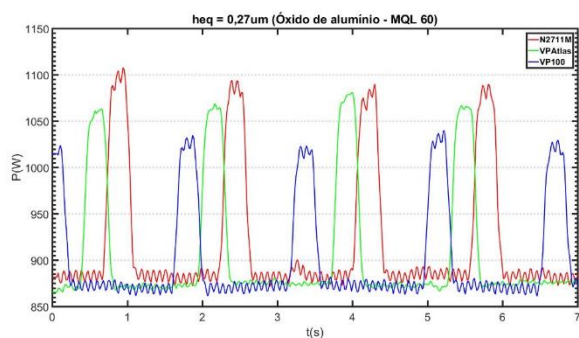
Estes resultados estão em concordância com os resultados obtidos nos trabalhos conduzidos por Damasceno (2010), Oikawa *et al.* (2011) e EMAMI *et al.*, (2013). Observa-se para os resultados obtidos após a usinagem com as técnicas convencional (Figura 1) e MQL (Figura 2) respectivamente que, independentemente da vazão empregada, os valores de potência elétrica instantânea aumentam em função do aumento da espessura equivalente de corte (heq) (Malkin, 2008). Além disso, eles não atingiram a potência máxima nominal do motor da máquina, que é de 2400 W.



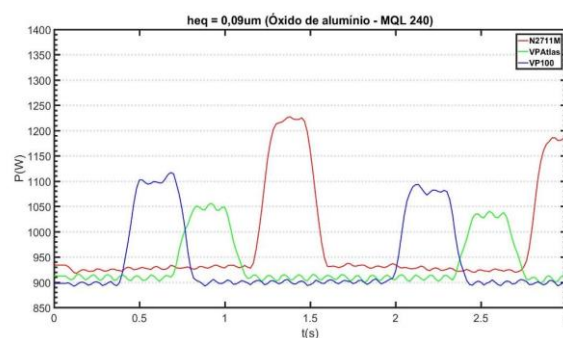
(a)



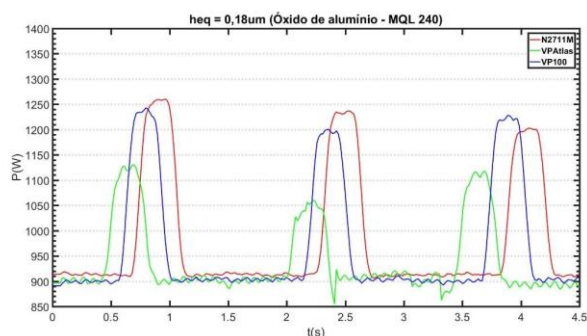
(b)



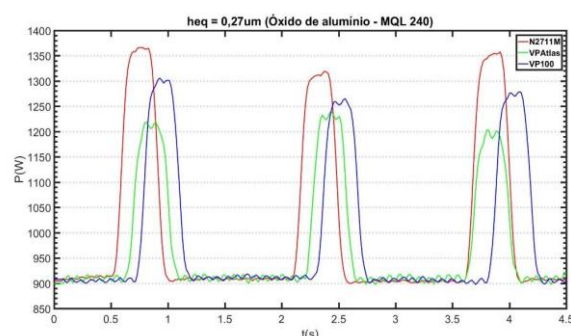
(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 2 – Potência instantânea de retificação com a progressão da usinagem para os diferentes aços após a usinagem com técnica MQL com diferentes vazões e espessuras de corte equivalente: (a) MQL 60 mL/h e $heq = 0,09 \mu m$, (b) MQL 60 mL/h e $heq = 0,18 \mu m$, (c) MQL 60 mL/h e $heq = 0,27 \mu m$, (d) MQL 240 mL/h e $heq = 0,09 \mu m$, (e) MQL 240 mL/h e $heq = 0,18 \mu m$, (f) MQL 240 mL/h e $heq = 0,27 \mu m$.

4. CONCLUSÃO

Após os ensaios de retificação dos aços N2711M, VP ATLAS e VP100 em diferentes condições operacionais, as seguintes conclusões podem ser tiradas:

- A técnica MQL proporcionou os menores valores de potência elétrica instantânea, independente dos materiais e das espessuras de cortes equivalentes testadas.
- A menor vazão de fluido de corte empregada com a técnica MQL resultou nos menores valores de potência elétrica instantânea em comparação com aqueles obtidos com a técnica convencional.
- Os valores de potência elétrica instantânea aumentaram com a espessura de corte equivalente, independentemente do tipo de material testados.
- O aço N2711M gerou os menores valores de potência elétrica instantânea, sugerindo que houve a influência da dureza. Aços com maiores valores de dureza apresentam em geral melhor retificabilidade por causa do mecanismo de corte que facilita o cisalhamento.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as empresas *Villares Metals* à *Saint Gobain Abrasives* pela doação dos materiais das peças e dos rebolos, respectivamente. Os autores agradecem ainda ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Uberlândia, a CAPES-PROEX e CNPq pelo apoio financeiro. Cleudes Guimarães agradece ao Instituto Federal de Mato Grosso (IFMT) pela sua liberação para o doutoramento à época do desenvolvimento das atividades que geraram os resultados deste trabalho. Rosemar Batista da Silva agradece em especial à FAPEMIG pelo apoio financeiro recebido.

via PPM-VII, Processo Nº: PPM-00265-13. Três autores agradecem ainda à universidade Federal do Triângulo Mineiro - UFTM Campus Uberaba – MG e aos Institutos Federais do Espírito Santo – IFES Campus Vitória - ES e do Triângulo Mineiro - IFTM Campus Ituiutaba pelo apoio financeiro.

6. REFERÊNCIAS

- Guimarães, Cleudes, 2016, Retificação plana de aços para moldes e matrizes em várias condições de corte e diferentes técnicas de aplicação de fluido de corte / Cleudes Guimarães. - 2016. Tese de doutorado. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia-MG. 189 p.
- Damasceno, R. F., 2010. Análise da influência da profundidade de corte e de diferentes métodos de lubri-refrigeração na retificação plana de aço ABNT 4340. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Universidade Estadual Paulista. Bauru – SP.165 p.
- Emami, M., Sadeghi, M. H., Sarhan, A. A. D., 2013, Investigating the effects of liquid atomization and delivery parameters of minimum quantity lubrication on the grinding process of Al₂O₃ engineering ceramics, Journal of Manufacture Processes, pp. 374 – 388. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2013.02.004>.
- Fratila, D., Caizar, C., Application of Taguchi method to selection of optimal lubrication and cutting conditions in face milling of AlMg3. J. Clean. Prod. 19 (2011), 640 e 645.
- Machado, A.M.; Abrão, A.M.; Coelho, R.T.; Silva, M. B.; 2015. Teoria da Usinagem dos Materiais. Editora Edgard Blucher, São Paulo. Brasil, 371p.
- Malkin S, Guo C. Grinding technology: Theory and application of machining with abrasives. vol. 2. Second Ed. New York, NY: Industrial Press; 2008.
- Oikawa, M. H., Bianchi, E. C., Destro, R. S., Sousa, R. M., Canarim, R. C., Alves, M. C. S., Aguiar, P. R. 2011. Cerâmicas avançadas no processo de retificação cilíndrica externa de mergulho utilizando a técnica da mínima quantidade de lubrificação (MQL) com rebolos diamantados. Revista Matéria, v. 16, n. 1, pp. 560 – 573. <https://doi.org/10.1590/S1517-70762011000100003>
- Rowe, W. B., 2014. Principles of Modern Grinding Technology. Ed. William Andrew, 2a ed., Oxford, UK.
- VILLARES METALS S.A., 2013, Moldes plásticos. Disponível em:
<http://www.villaresmetals.com.br/villares/pt/Produtos/Acos-Ferramenta/Aplicacoes/Moldes-plasticos>. Acesso em: 12/10/2013.
- Vieira, G. F.; Ruzzi, R. de S.; Sasaki, M. Y.; Da Silva, R. B.; Oliveira, R. F. M.; Damião, C. A.; Silva, L. C.; Da Silva, L. R. R., Surface Quality Evaluation of Various Metals After Grinding with Aluminum Oxide Grinding Wheel, Journal of Materials and Applications, v. 9, p. 25-31, 2020.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

EVALUATION OF THE GRINDING POWER OF THREE MOLDS AND DIES STEELS WITH DIFFERENT COOLING-LUBRICATION TECHNIQUES

Cleudes Guimarães

Federal Institute of Triângulo Mineiro (Campus Ituiutaba) – Belarmino Vilela Junqueira street, s/ N°, Novo Tempo 2, Zip-code 38305-200 Ituiutaba – MG, phone: (34) 3271-4000; Federal University of Uberlândia, School of Mechanical Engineering, João Naves de Ávila Avenue, 2121, Santa Mônica Zip-Code 38408-014 Uberlândia – MG
cleudes@iftm.edu.br

Armando Marques

Federal Institute of Education Science and Technology of Espírito Santo, Vitória Avenue, 1729, Jucutuquara, Vitória – ES, zip-code 29040-780
amarques@ifes.edu.br

Luciano Antônio Fernandes

Federal University of Triângulo Mineiro – Edmundo Borges de Araújo street, 539 – São Benedito Zip-code: 38020-600 Uberaba-MG
phone (34) 3700:6663
luciano.fernandes@uftm.edu.br

Rosemar Batista da Silva

Federal University of Uberlândia, School of Mechanical Engineering, João Naves de Ávila Avenue, 2121, Santa Mônica Zip-Code 38408-014 Uberlândia – MG
rosemar.silva@ufu.br

Abstract. *One of the greatest challenges in grinding with conventional abrasives is to minimize the heat generated in the process and consequently preventing occurrence of thermal damage to the workpiece. It has been reported that about 85% of heat generated during grinding is transferred to the workpiece because of low thermal conductivity of conventional abrasives as well as the small dimensions of chips. A possible solution for this problem is to find an efficient combination of the cutting parameters, Monitoring of instantaneous electrical power enables to evaluate the performance of machining process, thus assisting in selection of appropriate cutting parameters. In this sense, this work aimed to investigate the instantaneous grinding electrical power of three steels employed in the manufacture of molds and dies (ABNT VP100®, VP ATLAS® and N2711M) under different operational conditions. Two different coolant delivery techniques were tested (conventional and minimum quantity lubrication – MQL). For the MQL technique three flow rates values were tested. Three values of equivalent chip thickness were tested as a input parameter. The results showed that grinding power increased with equivalent chip thickness for all the steels. The grinding of the N2711M steel required the lowest grinding power during, what can be attributed to its higher hardness that is favorable for grinding process.*

Keywords: *Peripheral Surface grinding. Steels for die and mold. Equivalent chip thickness, Instantaneous electrical power.*

RESPONSIBILITY NOTICE

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