



ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA REFRIGERAÇÃO NO PROCESSO DE CORTE COM DISCOS ABRASIVOS

**Eduardo Carlos Bianchi,
Eraldo Jannone da Silva
Renato Cabrera Neves
Wanderson Tosta
Odilson Coimbra Fernandes
Ivan De Domenico Valarelli
Luiz Daré Neto.**

Universidade Estadual Paulista, Departamento de Engenharia Mecânica
Cx. P. 473 - 17033-360 - Bauru, SP, Brasil

***Resumo.** Neste trabalho é apresentado um estudo sobre o comparativo do processo de corte com discos abrasivos em operações do tipo “cut-off”, por meio de mergulho basculante, à seco e refrigerado, quando submetidos a diversas condições de corte. Comparativamente os valores de relação G no corte refrigerado foram maiores, sendo que a maior diferença na relação G entre os dois tipos de corte ocorreu onde o tempo de contato disco/peça foi maior. Os melhores valores obtidos de rugosidade superficial da peça foram obtidos com menores velocidades de mergulho e a seco. Isto ocorre pela maior degradação térmica da superfície de corte do disco que permite a renovação dos grãos. Desta formas os mesmos estão mais afiados e com áreas de topo menores, riscando menos a peça. Todas as diferenças obtidas de relação G podem ser melhoradas se forem utilizadas bombas e bocais adequados que proporcionem valores de vazão e pressão suficientes para penetrar de forma eficiente na região de corte.*

***Palavras-chave:** Operação Cut-off, Condições de corte, Relação G , Refrigeração*

1. INTRODUÇÃO

Ainda é bastante comum o corte de peças com serra de aço do tipo circular ou de fita. Mas, as serras de aço vêm sendo substituídas pelos abrasivos. Estes, na maioria dos casos, dão como resultado maior economia, melhor acabamento e, principalmente, rapidez de corte.

Além da maior rapidez no corte, os discos abrasivos podem ser empregados tanto para materiais metálicos como não metálicos. Ademais, somente discos abrasivos possibilitam o corte de certos materiais como titânio, tungstênio, cerâmica, vidro, etc.

Alguns fatores determinam a seleção do disco apropriado, como por exemplo o acabamento desejado. Segundo a empresa Norton (1994), a seleção do tamanho do grão e o grau de dureza do disco, tem um significativo efeito sobre o grau de rebarba, pois os mesmos,

de algum modo, determinam as características de corte livre do disco, que por sua vez, afeta o calor gerado antes que seja completado o corte. Quanto mais alto é o nível de temperatura, mais rebarba pode-se esperar, sendo também igualmente importante a espessura do disco, pois esta pode afetar a quantidade de calor gerado.

O cavaco gerado pela remoção de material em processos por abrasão (como é o caso do processo de corte com disco abrasivo) dá-se através da ação de inúmeras arestas de corte distribuídas e orientadas na estrutura da superfície de corte deste de forma aleatória. Segundo Kovacevic e Mohan (1995), esta remoção de material é acompanhada de um elevado consumo de energia. Durante as etapas de formação do cavaco (atrimento, deformação plástica e lascamento do material), grande parte da energia gerada é convertida em calor causando elevadas temperaturas na região de corte. Como resultado têm-se uma solitação térmica elevada da peça, podendo levar até ao comprometimento da integridade superficial da mesma, através do surgimento de fissuras, distorções, tensões residuais elevadas e não-conformidades dimensionais. Estes efeitos indesejáveis são acompanhados pelo desgaste acentuado do disco e pela aderência de partículas usinadas nos grãos abrasivos do mesmo.

Este trabalho apresenta um estudo comparativo do processo de corte com disco abrasivo a seco e refrigerado para que se possa avaliar as vantagens do corte refrigerado.

2. REFRIGERAÇÃO DO CORTE COM DISCO ABRASIVO

Normalmente, o corte com disco abrasivo refrigerado é utilizado para o corte de material para análises de metalografia. Discos para o corte em geral, como o serralheiro, são utilizados sem refrigeração (a seco).

Segundo Runge e Duarte (1990), as funções dos fluidos de corte são refrigerar, lubrificar, melhorar o acabamento de superfície, reduzir o desgaste das ferramentas, remover os cavacos da região de corte, proteger contra a corrosão (máquina, ferramenta, peça e cavacos) e lubrificar guias e barramentos.

A função primária do fluido de corte é a de remover o calor gerado durante a operação de corte, para prolongar a vida útil da ferramenta e garantir a precisão dimensional das peças através da redução de distorções térmicas. As temperaturas envolvidas na área de corte variam consideravelmente.

No caso de ferramentas com geometria definida (como as serras), aproximadamente 75% do calor é gerado pela deformação do metal da peça e os outros 25% são gerados pelo atrimento entre a ferramenta e o cavaco. Se este calor não for removido de maneira eficiente, ocorrerão distorções térmicas nas peças usinadas e rápida revenimento das ferramentas de corte, resultando em rápido e prematuro desgaste e conseqüentemente, em freqüentes trocas das mesmas. Mesmo reduções relativamente pequenas na temperatura de operação das ferramentas de corte resultam em aumentos consideráveis da vida útil das mesmas.

No caso do corte com disco abrasivo, pouca pesquisa existe sobre este assunto específico. Com relação a melhoria do desempenho do processo com a utilização de fluido de corte, ainda não foram realizadas pesquisas, segundo um amplo levantamento bibliográfico efetuado.

3. ALGUNS ASPECTOS BÁSICOS DA FENOMENOLOGIA DO CORTE COM DISCOS ABRASIVOS

Normalmente, no corte de peças em operações do tipo “cut-off” pressiona-se um disco abrasivo, com o diâmetro externo d_s [mm] e com velocidade de corte V_s [m/s], contra a peça a ser cortada, com diâmetro d_c [mm] e com uma velocidade de mergulho V_f [mm/s], usualmente fixada numa morsa.

Segundo Bianchi et al. (1995), a espessura teórica máxima do cavaco h_{\max} [mm] é diretamente proporcional a ao espaçamento médio entre os grãos abrasivos L [mm], a velocidade de mergulho e a velocidade de corte, sendo expressa por:

$$h_{\max} = 2 \cdot L \cdot (V_f / V_s) \quad (1)$$

Portanto, para um mesmo disco, aumentando-se V_f ou diminuindo-se V_s há um aumento na espessura máxima do cavaco arrancado. Todavia, variando-se a espessura do cavaco arrancado, altera-se a força tangencial de corte num grão abrasivo F_{t1g} [N]. Esta força tangencial de corte pode ser expressa por (Bianchi, 1995):

$$F_{t1g} = b \cdot h_{\max} \cdot K_s + \mu \cdot b^2 \cdot \pi \cdot K_n / 4 \quad (2)$$

sendo b [mm] a largura média do topo dos grãos abrasivos, que está associada à capacidade de fixação do grão pelo ligante (consequentemente provocando a elevação da força tangencial de corte), K_s [N/mm²] a pressão específica de corte, μ o coeficiente de atrito entre o grão abrasivo e a peça e K_n [N/mm²] a tensão de escoamento do metal da peça.

4. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Para a realização de ensaios experimentais, foi utilizado um banco de ensaios, composto por três partes com funções definidas. A parte eletrônica faz a interligação da parte mecânica com o microcomputador. A parte computacional transforma e processa os dados recebidos pela parte eletrônica, fornecendo os resultados que posteriormente serão analisados. A parte mecânica é responsável pelas operações de corte.

O diâmetro da barra de aço utilizada foi de 5/8" (15,9 mm) e os ensaios foram realizados com três valores de V_f (2,0 mm/s, 3,4 mm/s e 4,6 mm/s) e um valor de V_s , apresentada nas legendas com V_{si} (70 m/s), por ser decrescente com a perda diametral do disco. O material utilizado para o corte foi o aço ABNT 1020 (mecânico) e disco abrasivo AR302 (tipo serralheiro).

Como variáveis de saída, foram analisados os resultados finais de força tangencial de corte, relação G (relação entre o volume de material cortado pelo volume de disco gasto) e rugosidade superficial da peça. Para a refrigeração dos cortes foi utilizada uma pequena bomba e um bocal comercial.

Deve-se ressaltar que a pressão, vazão e o tipo de bocal exercem um substancial influência na refrigeração dos corte. Os métodos convencionais de aplicação dos fluidos de corte são pouco eficientes, especialmente sob condições de aplicação severas. A energia armazenada nos fluidos durante a sua aplicação não é suficiente, na maioria dos casos, para vencer a força centrífuga do rebolo ou penetrar na barreira de ar que circunda o rebolo em movimento. Segundo Guo e Malkin (1992), têm-se como resultado uma eficiência na utilização dos fluidos de corte na faixa de 5 a 30%. Entretanto, este trabalho objetiva a apresentar informações sobre as vantagens do corte refrigerado e não do melhor bocal ou condições de refrigeração.

Na Fig. 1 é apresentado o desenho esquemático de uma operação tipo "cut-off" e as principais variáveis envolvidas.

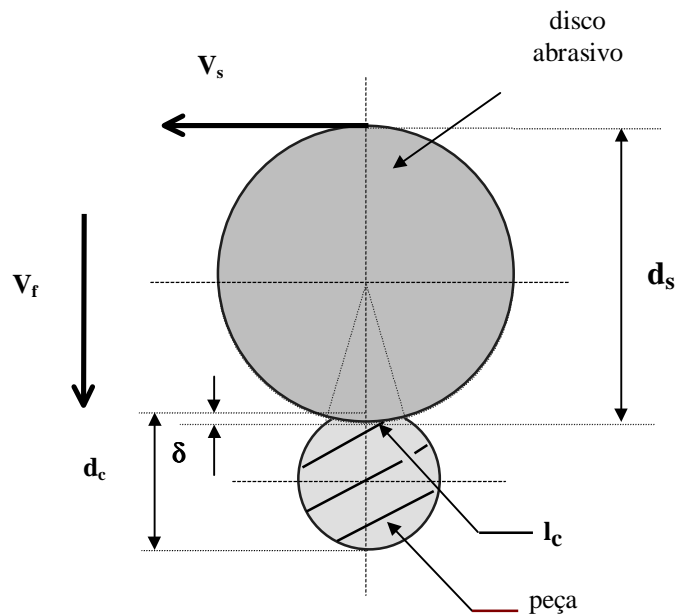


Figura 1 - Fenomenologia de corte para operações tipo “cut-off”

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Resultados obtidos de força tangencial de corte média em função do volume de material removido.

Os resultados de força tangencial de corte média obtidos nos ensaios com o aço ABNT 1020, a seco e refrigerado, são apresentados em figuras que agrupam 3 ensaios cada. Estes são mostrados na forma de curvas de força tangencial de corte média em função do número de cortes.

Nas Fig. 2 e 3 são apresentados os resultados de força tangencial de corte média, refrigerado e a seco, respectivamente, obtidos com velocidade de corte variável para o aço ABNT 1020, para as três condições de velocidade de mergulho ensaiadas.

De modo geral é mostrada nas curvas, inicialmente, uma ligeira tendência de crescimento da força tangencial de corte média e posteriormente houve a estabilização da força tangencial de corte média. Com a perda diametral do disco abrasivo há a diminuição do número de grãos na sua superfície de corte, e conseqüentemente, os cavacos arrancados têm suas espessuras teóricas máximas progressivamente aumentadas, independentemente da velocidade de corte. Nos ensaios realizados pode-se verificar que a força tangencial de corte média aumenta com a elevação da velocidade de mergulho. Isto ocorre pelo aumento da espessura máxima dos cavacos arrancados e, conseqüentemente da força tangencial de corte média (Eq. (1) e (2)).

Pode-se verificar nos ensaios que a combinação entre a diminuição de V_s com a elevação de V_f os cavacos são arrancados com espessuras máximas maiores. O número de cavacos arrancados é progressivamente menor, pela diminuição da velocidade de corte. Assim, cada vez menos grãos abrasivos removem cavacos com maior espessura do cavaco.

No ensaios com menor V_f , o tempo de contato entre o disco e a peça é maior, gerando mais calor. Conseqüentemente, a temperatura na região de corte é maior. Desta forma, o ligante fica sujeito à fadiga térmica (variações sucessivas de temperatura) que deteriora sua ligação com o grão, facilitando sua liberação. Assim o mecanismo de auto-afiação ocorre com maior intensidade.

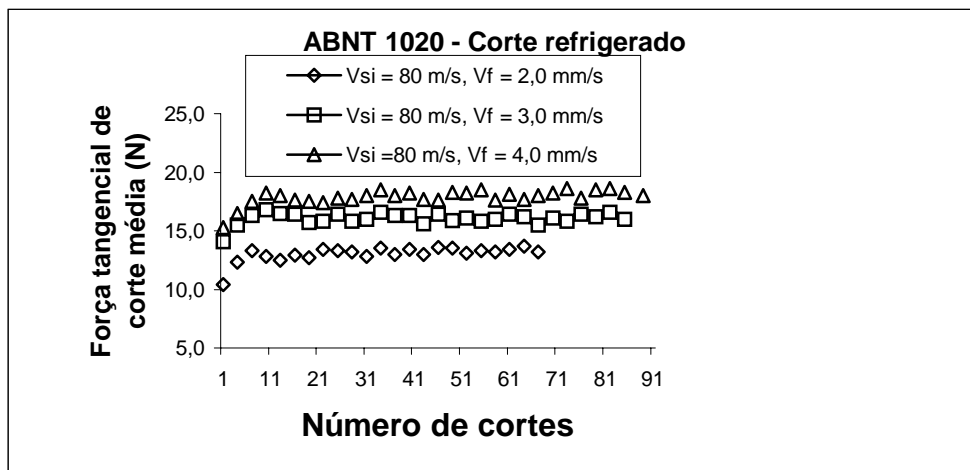


Figura 2 - Resultados de força tangencial de corte média, refrigerado, obtidos com velocidade de corte variável para o aço ABNT 1020, para as três condições de velocidade de mergulho ensaiadas

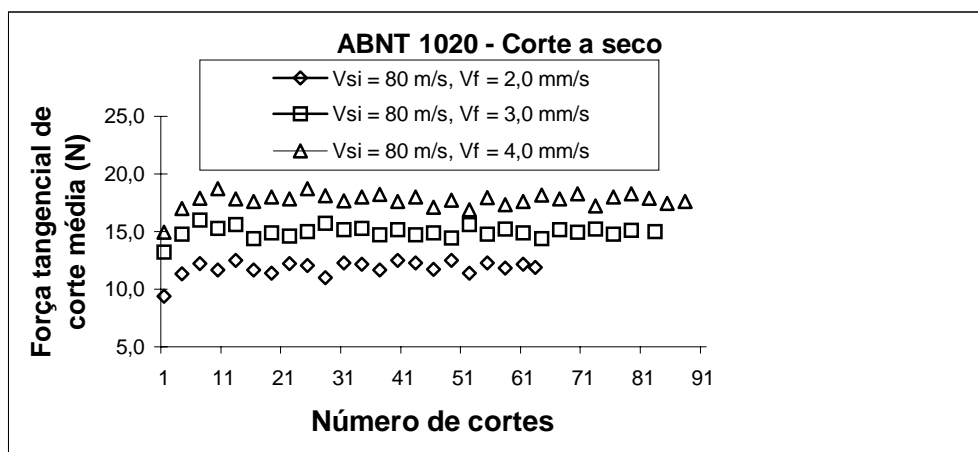


Figura 3- Resultados de força tangencial de corte média, a seco, obtidos com velocidade de corte variável para o aço ABNT 1020, para as três condições de velocidade de mergulho ensaiadas.

Na Fig. 4 são apresentados os resultados de força tangencial final de corte em função da velocidade de mergulho utilizada, obtidos nos ensaios refrigerado e a seco.

Pode-se notar que a força tangencial final de corte foi maior nos ensaios onde houve a refrigeração do corte. Isto ocorre pelo fato de haver uma diminuição da temperatura na região de corte, fazendo com que o grão abrasivo permaneça mais tempo preso ao ligante. Desta forma, há um crescimento mais acentuado nas áreas no topo dos grãos abrasivos, elevando os valores de força tangencial de corte.

Em ambos os casos com o aumento da velocidade de mergulho, a força tangencial final de corte tendeu a aumentar pelo fato de que o calor gerado é menor para valores de velocidade de mergulho maiores, devido ao menor tempo de contato disco/peça. Desta forma os grãos abrasivos ficam presos na superfície de corte do disco por mais tempo, devido a menor degradação térmica do ligante, acarretando maiores valores de força tangencial final de corte.

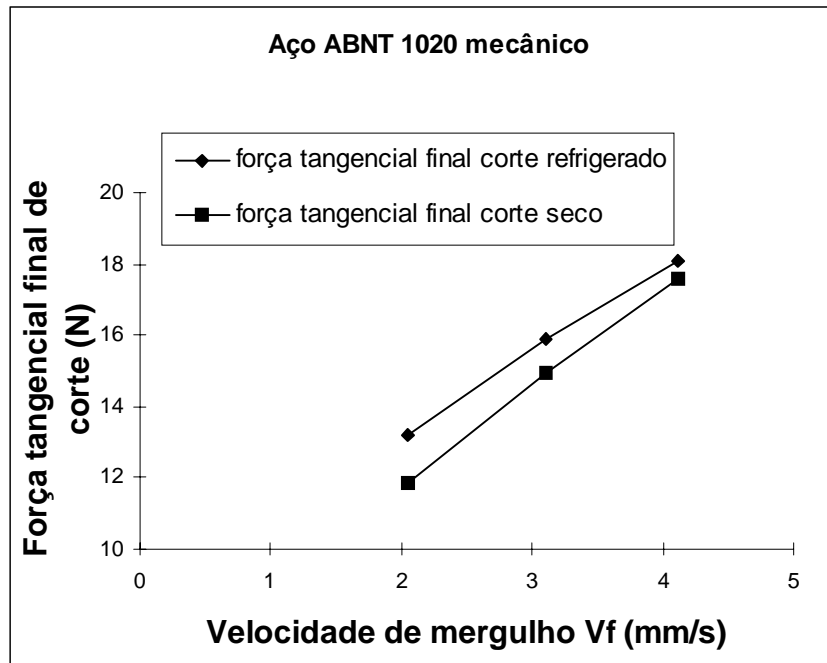


Figura 4 - Resultados de força tangencial final de corte em função da velocidade de mergulho utilizada, obtidos nos ensaios refrigerado e a seco

5.2 Resultados obtidos de relação G em função da velocidade de mergulho.

Este fato pode ser confirmado através da análise da Fig. 5, onde os valores de relação G são apresentados em função da velocidade de mergulho.

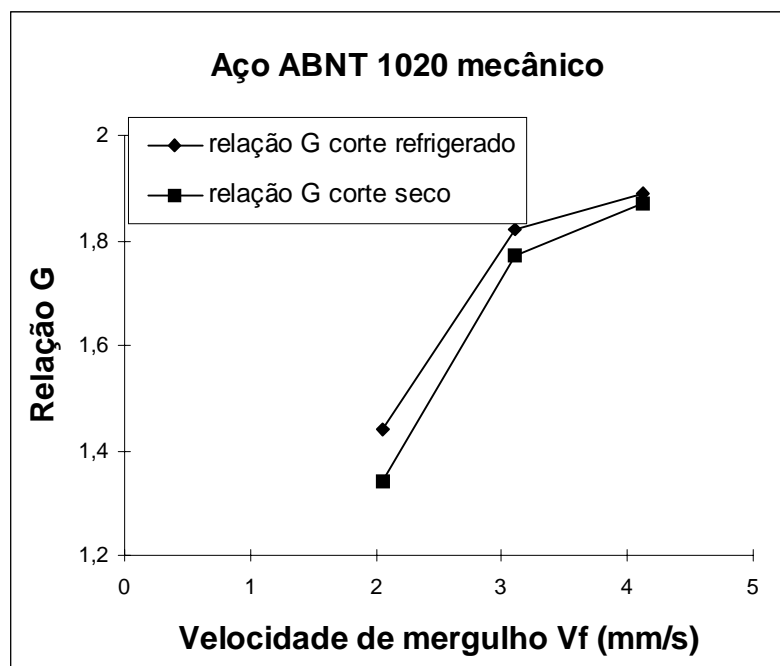


Figura 5 - Resultados de relação G em função da velocidade de mergulho utilizada, obtidos nos ensaios refrigerado e a seco

Os valores de relação G , em ambos os casos, tenderam a aumentar com a elevação da velocidade de mergulho. Isto é devido a menor perda diametral do disco, gerada pela maior capacidade de retenção do grão abrasivo pelo ligante, resultado da menor degradação térmica do mesmo, quando da utilização de velocidade de mergulho maiores.

Comparativamente, para os valores de velocidade de mergulho utilizadas, os maiores valores de G foram obtidos para os ensaios refrigerados. Porém a refrigeração mostrou-se mais eficiente para valores de menor velocidade de mergulho, onde a solicitação térmica é maior.

5.3 Resultados obtidos de rugosidade superficial em função da velocidade de mergulho.

Nas condições de corte, descritas anteriormente, obtém-se os menores valores de rugosidade superficial da peça, principalmente se esta não for refrigerada, conforme pode ser observada na Fig. 6. Para maiores valores de velocidade de mergulho a rugosidade superficial da peça tende a aumentar. Nos resultados obtidos pode-se comprovar que os maiores valores de rugosidade superficial da peça são obtidos no corte refrigerado. Isto é devido ao maior tempo de permanência dos grãos abrasivos na superfície de corte do disco, levando a um aumento da área do topo dos grãos, riscando mais a superfície da peça.

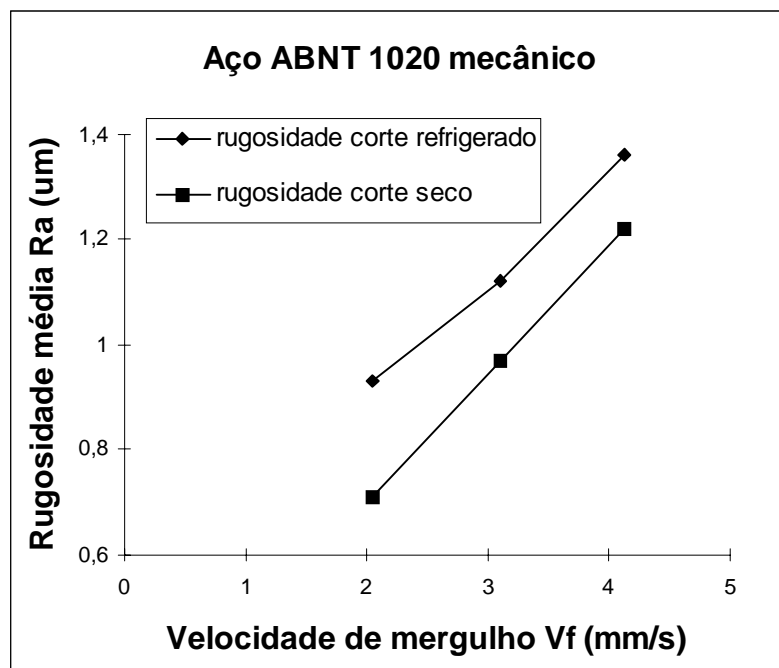


Figura 6 - Resultados de rugosidade superficial da peça em função da velocidade de mergulho utilizada, obtidos nos ensaios refrigerado e a seco

6. CONCLUSÕES

Da análise dos resultados obtidos podem ser tiradas as seguintes conclusões:

A força tangencial final de corte tende a aumentar com a elevação da velocidade de mergulho devido a melhor fixação dos grãos abrasivos na superfície de corte do disco. Isto ocorre pois os cortes são feitos mais rapidamente acarretando numa menor solicitação térmica do disco. Quando o corte é refrigerado os valores de força tangencial de corte são mais

elevados devido a menor solicitação térmica, quando comparado com os valores obtidos no corte a seco.

A relação G tendeu a aumentar com a elevação da velocidade de mergulho pelo mesmo motivo citado anteriormente. Comparativamente os valores de relação G no corte refrigerado foram maiores. Pode-se notar que a maior diferença na relação G entre os dois tipos de corte ocorreu onde o tempo de contato disco/peça foi maior. Com a elevação da velocidade de mergulho, a diferença entre os valores de relação G tende a ser menor devido a dificuldade do fluido de corte em penetrar na região de contato disco/peça, devido ao sistema de refrigeração utilizado para este trabalho.

Os melhores valores obtidos de rugosidade superficial da peça foram obtidos com menores velocidades de mergulho e a seco. Isto ocorre pela maior degradação térmica da superfície de corte do disco que permite a renovação dos grãos. Desta formas os mesmos estão mais afiados e com áreas de topo menores, riscando menos a peça.

Todas as diferenças obtidas de relação G podem ser melhoradas se forem utilizadas bombas e bocais adequados que proporcionem valores de vazão e pressão suficientes para penetrar de forma mais eficiente na região de corte.

Agradecimentos

Desejamos manifestar nossos agradecimentos ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio financeiro que viabilizou a maior parte da realização deste trabalho e pela bolsa de Iniciação Científica concedidas, a FUNDUNESP (Fundação Para o Desenvolvimento da UNESP) pelo apoio financeiro complementar, a empresa NORTON S.A. que cedeu os discos abrasivos e a empresa KOHLBACH, pela doação dos motores.

REFERÊNCIAS

- Bianchi, E.C.; Yokoyama, E.M.; Sanchez, L.E.A.; Gonçalves, G.M.B.; Kobayashi, Y.; Fernandes, O.C.; Aguiar, P.R., 1995. O controle da velocidade de corte com discos abrasivos aumenta a produtividade. Revista Máquinas e Metais. Ano XXXI, No 357. p. 30 - 40.
- Guo, C.; Malkin, S., 1992, Analysis of fluid through grinding zone. ASME Journal of Engineering for Industry, Vol. 114, p. 427-434.
- Kovacevic, R; Mohan R., 1995, Effect of high speed grinding fluid on surface grinding performance. SME Technical paper MR95-213, p. 919-931.
- Norton, 1994, NTP043: Normas técnicas de produtos. São Paulo: gerência de produto – abrasivos / engenharia de produto, 89 p. (mimeogr.)
- Runge, P. R. F. e Duarte, G. N., 1990, Lubrificantes nas indústrias - Produção, manutenção e controle. Triboconcept – Edições Técnicas, p. 71-99.

THE INFLUENCE OF COOLING IN THE CUT-OFF OPERATION

Abstract. This paper shows a study of the abrasive disc's behavior, under several cutting conditions, when the cut-off operation is done with and without cooling. Comparing the two situations, in cases that cooling was applied, the values of G ratio were higher than the ones observed in the cutting operations without cooling. The highest value of G ratio, using cooling, was observed when the contact time between the workpiece and the abrasive disc was higher. In the other hand, when the cutting process is done without cooling, lowers values

of roughness R_a were observed, due to the higher thermal damage that occurs in the abrasive's bond, causing the release of the grains. The new sharper ones, with unflatted top grain areas, can remove more material, and lead to a better surface finishing. To improve the differences detected on this research, a powerfully cooling system should be used.

Key words: *Cut-off operation, Cutting conditions, G ratio, Cooling*