

PROCESSO DE CORTE DE MATERIAIS FERROSOS POR ATRITO, UTILIZANDO DISCOS DE AÇO

Célio Losnak

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Departamento de Engenharia Mecânica. Avenida Luiz Edmundo Carrijo Coube, S/N – cep 17033-360 – Bauru – SP- Brasil, (14) 3103-6119 Fax: (14) 3231-2761 e-mail: losnak@feb.unesp.br

Luiz Eduardo de Angelo Sanchez

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Departamento de Engenharia Mecânica. Avenida Luiz Edmundo Carrijo Coube, S/N – cep 17033-360 – Bauru – SP- Brasil, Fone (14) 3103- 6119 Fax: (14) 3231-2761 e-mail: sanchez@feb.unesp.br

Resumo. *Industrialmente o corte de tubos normalmente é realizado pelo processo a frio. Já outros materiais ferrosos são cortados com discos abrasivos ou “cut off” (termo mais comumente usado). Sabe-se que a remoção de material utilizando este tipo de disco é acompanhada de um elevado consumo de energia em que grande parte dela é convertida em calor causando altas temperaturas na região de corte, podendo até mesmo levar ao comprometimento superficial/subsuperficial da peça com o aparecimento de fissuras, distorções, tensões residuais elevadas, entre outros. Como consequência da característica do processo pode-se constatar um desgaste acentuado do disco, além da produção de grandes volumes de rebarbas no material. O presente trabalho tem como principal objetivo a realização de cortes com um disco de aço avaliando seu desgaste diametral e a perda de material ocorrida durante o processo de corte.*

Palavras-chave: processo de corte, corte por atrito, desgaste de disco abrasivo.

1. INTRODUÇÃO

O corte de materiais ferrosos utilizando disco abrasivo, ou “cut off”(termo mais empregado para este tipo de disco), é um dos processos que apresenta as melhores características de economia, eficiência e rapidez por isso muito utilizado no meio industrial, se comparado com outros processos de corte de materiais.

No entanto, a remoção de material utilizando o disco abrasivo é acompanhada de um elevado consumo de energia. Durante as etapas de formação do cavaco, grande parte da energia gerada é convertida em calor causando elevadas temperaturas na região do corte. Como resultado tem-se um aquecimento excessivo da peça, podendo até mesmo levar ao comprometimento superficial da mesma com a produção de trincas, queimas, distorções, tensões residuais elevadas, entre outras. Como consequência da característica do processo de corte nota-se um acentuado desgaste do disco, o aparecimento de grandes volumes de rebarbas no material, que além de acarretar grandes desperdícios para produções em escala obriga a introdução de uma etapa de rebarbação (Kovacevic et al., 1995).

Diante dos problemas detectados, verifica-se a necessidade do desenvolvimento de um corte empregando-se um disco que proporcione melhores resultados do que aquele com disco abrasivo.

Segundo Bianchi et al. (1997), o corte de peças em operações do tipo “cut off”, consiste em pressionar o diâmetro externo de um disco abrasivo em rotação contra uma peça a ser cortada, usualmente fixada numa morsa, em velocidade de mergulho. O comportamento deste tipo de corte depende do material a ser cortado, do tipo de disco utilizado, da habilidade do operador e das condições de corte empregadas. Deve-se ressaltar que as condições de corte não podem ser otimizadas variando-se apenas um dos parâmetros de entrada do processo, mas através de uma combinação elaborada entre estes. Ainda, de acordo com Bianchi et al. (1997), a perda diametral do disco abrasivo provoca 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. Desse modo, a cada corte executado, cavacos de espessuras teóricas máximas cada vez maiores são removidos com menor frequência pelos grãos do disco abrasivo, uma vez que velocidade de corte é decrescente.

De acordo com a empresa Norton (1994), a seleção do tamanho do grão e a dureza do disco têm um significativo efeito sobre o volume de rebarba pois, 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 o nível de temperatura mais rebarba pode-se esperar, sendo também igualmente importante a espessura do disco uma vez que esta pode afetar a quantidade de calor gerado. Ainda de acordo com a empresa, a especificação do disco abrasivo utilizado (AR302) mostra que o grão abrasivo é de óxido de alumínio (A), ligante resinóide (R) e com duas telas (2). O código 30 é de controle interno da empresa. Este disco abrasivo é fabricado com grãos de óxido de alumínio marrom e com uma combinação de grãos com granulometria de 20 e 46 Mesh, para obtenção de custo e desempenho desejados pelo mercado. Juntamente com o ligante resinóide são acrescentados enchimentos ativos, como por exemplo, pirita. Embora não esteja indicada sua dureza na especificação, trata-se de um disco abrasivo duro.

UEDA e TANAKA et al. (1993) ressaltam que outro fator que influencia o macro desgaste é a elevada temperatura na região de contato grão-peça tornando-se ainda mais problemático quando o corte não é refrigerado. Altas temperaturas deterioram o ligante enfraquecendo a fixação dos grãos abrasivos. Isto facilita a liberação deles caracterizando o macro desgaste.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização dos ensaios experimentais, fez-se necessária a construção de um completo banco de ensaios, contando com os seguintes materiais e equipamentos: máquina policorte; esmeril; disco de aço AISI O1; disco abrasivo AR302; balança digital com leitura de 0,001g; relógio comparador com leitura de 0,01mm, inversor de frequência da marca WEG; e tacômetro para medição da rotação do disco.

Inicialmente, realizou-se a adequação de uma serra de aço AISI O1, utilizada no corte de madeira, através da retirada de seus dentes. Deste modo, obteve-se um disco de aço AISI O1 liso, o qual seria aplicado aos cortes de materiais ferrosos.

Assim, iniciaram-se os procedimentos para a determinação do número de rotações (n_a) a qual se aplica a este disco no processo de corte. Para tal, seria necessário o valor do diâmetro deste disco (D_a), assim como da velocidade de corte (V_c) a qual ele seria submetido. Como foi proposto por este trabalho realizar cortes de materiais ferrosos, utilizando-se de discos de aço e abrasivos submetidos à mesma velocidade de corte, recorreu-se aos dados fornecidos pelo fabricante do disco abrasivo para determinar a velocidade de corte que seria aplicada ao processo. Assim, foi fornecido que para o diâmetro do disco abrasivo (D_{ab}) de 250 mm a rotação máxima de segurança (n_{ab}) permitida corresponderia 6015 rpm. Então, através da Eq. 1, pode-se calcular a velocidade de corte como mostrado:

$$V_c = \frac{\pi \cdot D_{ab} \cdot n_{ab}}{1000} \quad (1)$$

Deste modo, obteve-se uma velocidade de corte para o processo de 4591,89 m/min ou 76,5 m/s. Então, com o auxílio de um paquímetro mediu-se o diâmetro do disco de aço, anotando-se o valor de 254 mm. Assim, através da Eq. 2, provinda da equação 4, pode-se determinar a rotação que o disco de aço foi submetido.

$$n_a = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi \cdot D_a} \quad (2)$$

E desta forma, obteve-se a rotação igual a 5760 rpm para o disco de aço.

Em seguida, foi realizada a calibração do inversor de frequência para a máquina policorte a qual ele foi ligado. Para tal, o mesmo era ligado à máquina e medições da rotação de saída no eixo da policorte eram realizadas com auxílio de um tacômetro digital para diferentes rotações impostas no inversor de frequência. Deste modo, pôde-se criar a tabela 1 com as correspondentes rotações de entrada no inversor e no eixo de saída.

Tabela 1: Rotações de saída no eixo (n_s) para diferentes rotações de entrada no inversor de frequência (n_i) em rotações por minuto.

n_i	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3160	3200	3400	3600
n_s	2547	2920	3288	3647	4003	4363	4730	5089	5467	5760	5830	6185	6537

O material dos corpos de prova empregado nos ensaios foi o aço ABNT 1020 com 6 mm de diâmetro. Em cada ensaio realizado com o disco abrasivo, foram obtidos 5 corpos de prova de dimensões iguais e um comprimento aleatório de barra restante. Já para o disco de aço realizaram-se séries de 10 corpos de provas, pois deste modo pôde-se observar um maior desgaste no disco, já que esse apresenta desgaste muito pequeno.

Ao final de cada série, avaliou-se a massa dos corpos de prova e da barra restante com o auxílio de uma balança de leitura de 0,001g. Com esses dados determinou-se a massa perdida (M') através da Eq. 3, na qual são verificadas relações entre a massa inicial da barra (M) e as massas referentes aos corpos de prova (m_2) e a barra restante (m_1). O resultado desta equação fornece com facilidade a massa de material que foi desperdiçada durante os cortes.

$$M' = M - (m_1 + m_2) \quad (3)$$

Além da massa perdida em cada ensaio determinou-se, com ajuda de um relógio comparador, o desgaste diametral apresentado em cada um dos dois discos. Para medição foram utilizadas bases magnéticas em V que serviram de apoios para os discos, evitando possíveis erros na medição, já que antes da realização dos ensaios verificou-se uma rugosidade média considerável em ambos discos com auxílio de um rugosímetro.

Ainda foi possível a realização da medição da massa das rebarbas (M_R) de cada uma das séries. Com o auxílio de um esmeril, pôde-se retirar a rebarba de todos os corpos de provas medindo suas massas. A Eq. 4, dá a diferença entre a massa dos corpos de prova com e sem rebarba.

$$M_R = m_2 - m'_2 \quad (4)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para análise dos resultados obtidos com o uso do disco abrasivo AR302 e com o disco de aço AISI 01, foram elaborados uma série de gráficos comparando os dois processos de corte.

4.1. Massa perdida no corte de materiais ferrosos

Os resultados da massa perdida durante os cortes de materiais ferrosos nos ensaios com aço ABNT 1020 com 6 mm de espessura, sem fluido de corte, são apresentados em figuras nas quais podem ser visualizados 6 ensaios para o disco abrasivo, cada qual com 5 cortes (total de 30 cortes), e 9 ensaios para o disco de aço, cada qual com 10 cortes cada (total de 90 cortes).

Nas figuras 1 e 2 são apresentados os resultados da massa perdida durante os cortes realizados com disco de aço e disco abrasivo, respectivamente. De modo geral, as curvas tiveram comportamentos semelhantes, apresentando tendências lineares praticamente constantes (baixos coeficientes de proporcionalidade, de $-8\text{E-}16$ para o disco de aço e $-0,0151$ para o disco abrasivo) e oscilações suaves em torno desta. As oscilações, mesmo que pequenas e próximas de um valor médio, ocorrem devido à dificuldade de manter algumas variáveis constantes, como velocidade de mergulho do disco, comprimento dos corpos de prova, vibração da máquina, entre outros, sendo críticas estas situações também no setor industrial. Entretanto, verifica-se nas figuras que os valores médios para as massas perdidas foram diferentes quando se utilizaram discos distintos. Para o disco de aço observou-se uma massa perdida média de 9,152 g por ensaio no decorrer dos 9 realizados, enquanto que o disco abrasivo proporcionou uma média de 18,705 g por ensaio para 6 ensaios realizados.

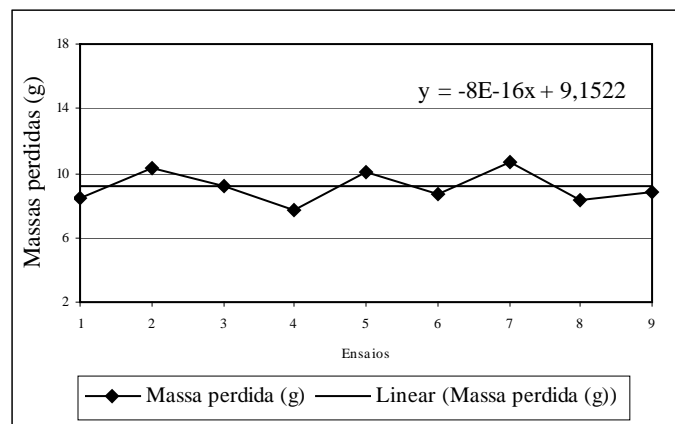


Figura 1 – Resultado da massa perdida durante os cortes utilizando-se disco de aço AISI 01.

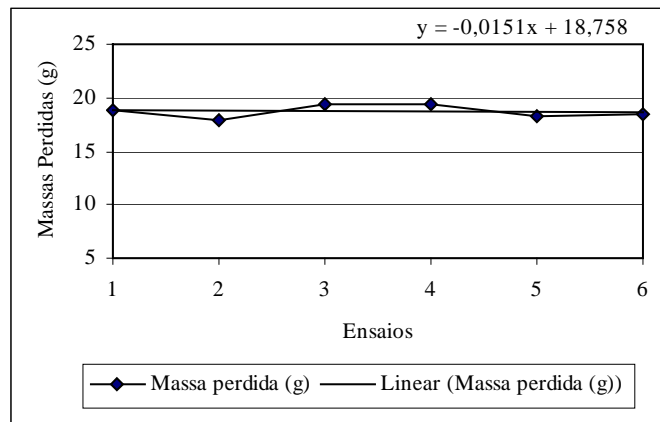


Figura 2 – Resultado da massa perdida durante os cortes utilizando-se disco abrasivo AR302.

4.2. Desgaste diametral do disco de aço AISI 01 e do disco abrasivo AR302

O estudo comparativo do desgaste diametral entre os dois discos também foi realizado. O desgaste médio para cada ensaio foi calculado a partir da média dos desgastes medidos em 8 pontos nos discos. Na figura 3, pode-se visualizar os pontos onde os desgastes nos discos foi medido.

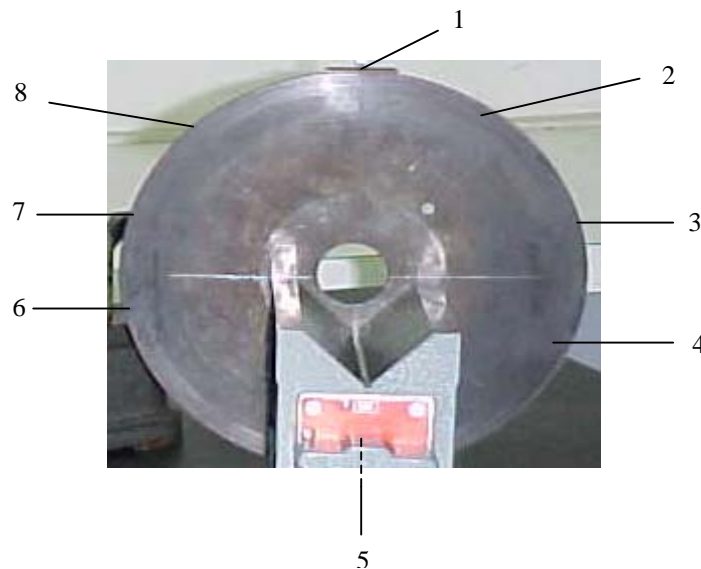


Figura 3 – Disco de aço e os pontos de medição do desgaste.

Entretanto, um novo fenômeno deve ser abordado. No corte de materiais ferrosos com disco de aço AISI 01 há uma maior temperatura na interface disco/peça devido ao maior atrito existente neste processo de corte. A alta temperatura faz com que cavacos arrancados durante o processo de corte sejam aderidos à superfície periférica do disco de forma aleatória fazendo com que alguns pontos dela ao invés de apresentarem desgastes, desenvolvem camadas superficiais aderidas. Neste trabalho, a cada ensaio realizado (10 cortes) foram tomados 8 medições na superfície diametral do disco, como já mostrado. No final dos 10 ensaios, 80 medições foram realizadas nestas superfícies e destas 46,25% foram pontos de desenvolvimento de camadas superficiais, 42,5% foram pontos de desgastes do disco e 11,25% foram pontos que não apresentaram desgaste. Devido à total escassez de trabalhos relacionados com corte de materiais

ferrosos com disco de aço liso, não se sabe ao certo as influências desta camada superficial no corte, entretanto, em uma primeira experiência, verificou-se que cortes realizados com o disco de aço com predomínio de camadas superficiais apresentam menor tempo de corte, além de menor velocidade de mergulho. Neste aspecto, estudos mais específicos devem ser desenvolvidos.

Conforme exposto, para os ensaios realizados com o disco de aço, o desgaste diametral médio no disco foi obtido pela média dos desgastes diametraes em cada ponto que não se observou o desenvolvimento da camada superficial (máximo de 8 pontos – caso nenhum apresente a formação da camada e mínimo de 0 caso – todos apresentem a camada).

As figuras 4 e 5 mostram os resultados dos desgastes diametraes nos discos de aço AISI O1 e abrasivos AR302, respectivamente. Nelas pode-se observar que o desgaste diametral no disco de aço, assim como no disco abrasivo, apresentou uma tendência linear praticamente constante com pequenas flutuações acima e abaixo de um desgaste médio (veja os coeficientes de proporcionalidade nas equações da linha de tendência). No entanto, o desgaste médio do disco de aço AISI O1 foi de 0,017 mm, enquanto no disco abrasivo AR302 foi de aproximadamente 0,031 mm. Desta forma, o disco de aço fornece um desgaste diametral médio 45,16% menor em relação ao disco abrasivo.

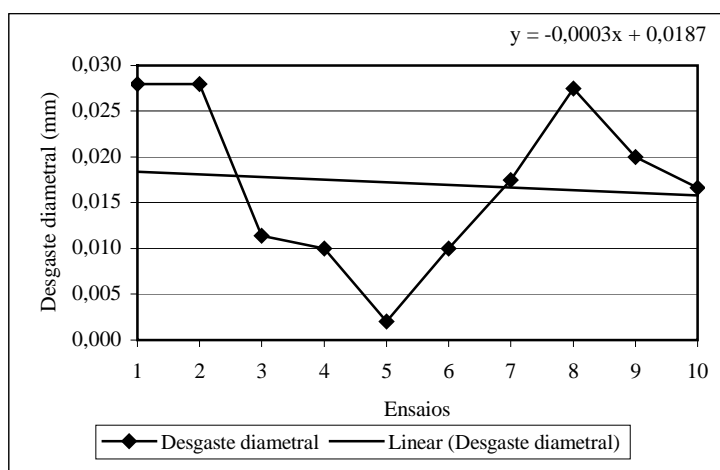


Figura 4 – Resultado do desgaste diametral durante os cortes utilizando-se do disco de aço AISI O1.

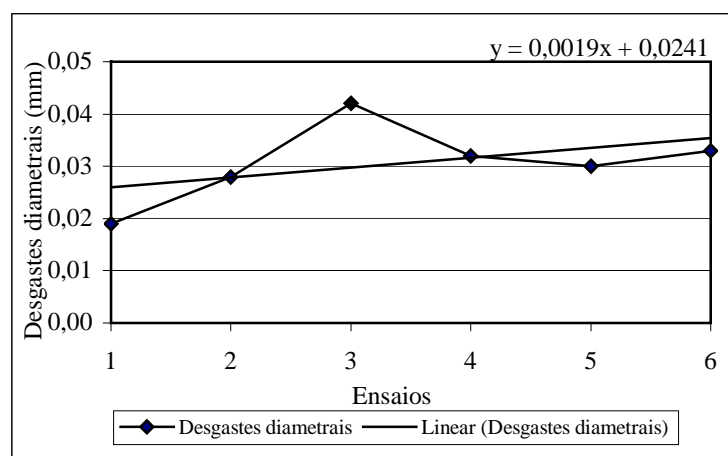


Figura 5 – Resultado do desgaste diametral durante os cortes utilizando-se do disco abrasivo AR302.

4.3. Massa de rebarba produzida pelo disco de aço AISI O1 e disco abrasivo AR302

O estudo da massa da rebarba produzida no processo de corte com o disco abrasivo e com o disco de aço de aço no decorrer dos ensaios finalizou os procedimentos comparativos entre eles.

Nas figuras 6 e 7 são apresentadas as curvas referentes às massas das rebarbas produzidas com utilização do disco de aço e do disco abrasivo, respectivamente. Nelas pode-se observar que para ambos há uma tendência linear crescente da massa da rebarba sugerindo que o desgaste do grão abrasivo provoca maior geração de calor na interface disco/peça, produzindo maior quantidade de rebarbas. Já no caso do disco de aço estas tendências de crescimento ocorreram devido às camadas de materiais aderidas à superfície diametral do disco. Estas provocam superfícies irregulares que, por sua vez, acabam aumentando o atrito na interface disco/peça. Desta forma, mais uma vez há um aumento da temperatura nesta região o que provoca a tendência de crescimento da massa da rebarba no decorrer dos ensaios.

Apesar do comportamento semelhante entre os processos com os dois discos, a massa de rebarba média nos ensaios realizados com o disco de aço foi de 4,52 g, enquanto para o disco abrasivo está foi de 0,68 g. A expressiva diferença mostra que as camadas de material aderidos proporcionam resultados muito mais significativos quanto ao aumento da temperatura na região de interface do corte em relação ao desgaste do grão abrasivo.

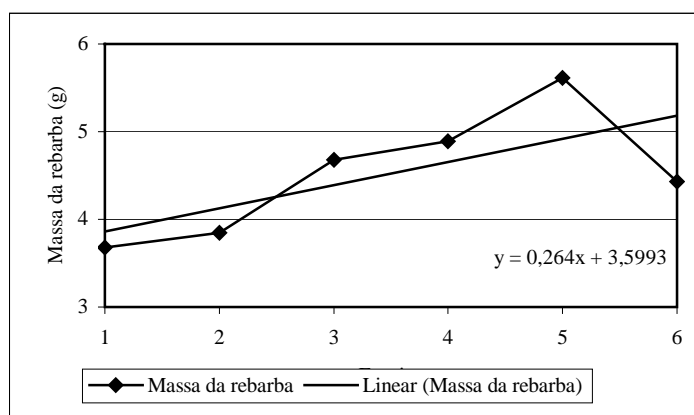


Figura 6 – Resultado da massa da rebarba durante os cortes utilizando-se do disco de aço AISI O1.

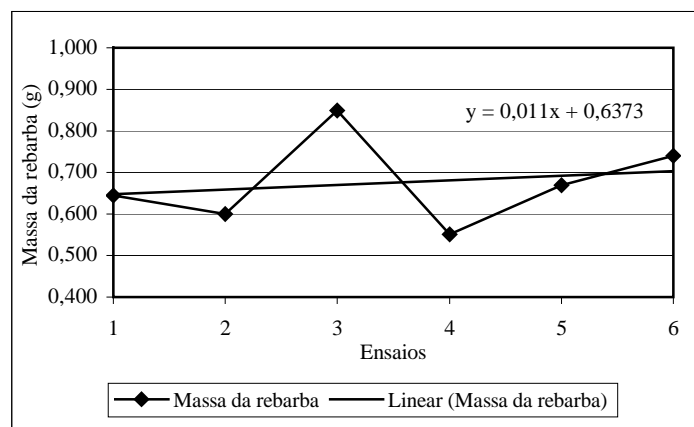


Figura 7 – Resultado da massa da rebarba durante os cortes utilizando-se do disco abrasivo AR302.

Através dos resultados referentes às massas perdidas durante os cortes e das massas de rebarba, pôde-se determinar quais entre os dois discos oferecem menores quantidades de massas desperdiçadas no processo.

Somando-se a massa média perdida durante os cortes às massas médias das rebarbas, determinou-se a massa total desperdiçada para o processo de corte com cada um dos discos e assim obteve-se: o disco abrasivo AR302 ofereceu uma massa total desperdiçada durante o processo de 19,381g, enquanto o disco de aço AISI O1 teve 13,675 g, representando uma economia de 29,44% em massa.

4. CONCLUSÕES

Analisando-se os resultados obtidos nos processos de corte, utilizando-se de disco de aço AISI O1 e disco abrasivo AR302, pode-se concluir que à medida que mais cortes foram feitos os dois discos tendiam a ter baixos valores de desgastes diametrais, sendo estes sempre próximos de um valor médio. Entretanto, o disco de aço apresentou valores menores em relação ao disco abrasivo, com um desgaste médio 45,16% menor em relação ao apresentado pelo disco abrasivo. Esta expressiva diferença acaba por diminuir dos custos quando se utiliza o disco de aço AISI O1 liso uma vez que ele apresenta maior vida útil em relação ao abrasivo AR302, além de não quebrarem e serem menos suscetíveis à intempéries como exposição ao sol, chuva, entre outras condições climáticas.

Quanto à massa total desperdiçada durante a realização de cada ensaio, o disco de aço novamente apresentou menores valores com uma média 29,44% menor em relação ao disco abrasivo. Deste modo verifica-se que o disco de aço também se mostra mais eficiente que o disco abrasivo neste quesito, perdendo menor quantidade de material no decorrer dos processos de corte.

Esta maior eficiência do disco de aço AISI O1 liso utilizado nesta pesquisa é explicada pelo fenômeno da adição aleatória da camada de material junto à superfície diametral do disco ao final de cada ensaio. Ela promove o aumento do atrito na interface disco/peça que, conseqüentemente, faz com que haja um aumento da temperatura na região do corte. Deste modo, obteve-se maiores rebarbas no processo, porém com menores perdas de material no decorrer dos ensaios (maior facilidade de realização dos cortes), além de valores de desgastes sempre baixos.

5. REFERÊNCIAS

- Bianchi, E. C., Cagnin, A. R., Castro, E. M., Fernandes, O., Valarelli, I. D., Aguiar, P. R., “Estudo do comportamento de discos abrasivos, em operações do tipo “cut-off” por mergulho basculante, submetidos a diversas condições de corte sem refrigeração”. Bauru, 1997. 131p. Tese (Livre-Docência) Faculdade de Engenharia - UNESP - Campus de Bauru.
- Gottlob, W. J., “Uma verificação experimental do desgaste das ferramentas na usinagem da madeira de “Eucalyptus Grandis”. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, 15, Águas de Lindóia, de 22 a 25 de Novembro de 1999. Anais do Cobem. São Paulo: Associação Brasileira de Ciências Mecânicas, (em CD – ROM).
- Kovacevic, R., Mohan, R., “Effect of high speed grinding fluid on surface grinding performance”. SME Technical paper MR95-213, pp.919-931, 1995.
- Norton. NTP043, Normas técnicas de produtos. São Paulo: gerência de produto – abrasivos / engenharia de produto, 1994, pp. 89 (mimeogr.).
- Ueda, T.; Tanaka, H., Measurement of Grinding Temperature of Active Grains Using Infrared Radiation Pyrometer with Optical Fibre. Annals of the CIRP., 42/1, 1993, P.405-408.

EVALUATION OF MATERIALS ATTRITION CUTTING PROCESS USING STEEL AND ABRASIVE WHEELS SUBMITTED THE SAME CUTTING SPEED

Célio Losnak

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Departamento de Engenharia Mecânica. Avenida Luiz Edmundo Carrijo Coube, S/N – cep 17033-360 – Bauru – SP- Brasil, Fone (14) 3103-6119 Fax: (14) 3231-2761 e-mail: losnak@feb.unesp.br

Luiz Eduardo de Angelo Sanchez

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Departamento de Engenharia Mecânica. Avenida Luiz Edmundo Carrijo Coube, S/N – cep 17033-360 – Bauru – SP- Brasil, Fone (14) 3103-6119 Fax: (14) 3231-2761 e-mail: sanchez@feb.unesp.br

Abstract: *The cut of pipes in the industry is performed through of cold process. Other ferrous materials are cutting with an abrasive wheels process or “cut-off” (the usual term). This is the best process that had known until here with good characteristics of economy, efficiency and swiftness, if compare with other kinds of materials cutting that produce chips. However, the removed material by this wheel is accompanied of high-energy consumption. While the stage of chipping, long portion of energy generated is converting to heat producing high temperatures in the cutting area carrying out a superficial compromise, like appearing of fissure, high strain and distortion. This effects can to take an accentuate consuming of the wheel and to cause high volume of burr on the material. Therefore, it is important to choose a new wheel able to obtain better result than the abrasive wheels. In this way, the main purpose of this work is study the diametrical consuming and the lost mass during the cut process.*

Keywords: cutting process, attrition cutting, abrasive wheel wear.