



ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA DUREZA DOS DISCOS ABRASIVOS NO COMPORTAMENTO DAS FORÇAS DE CORTE

**Eduardo Carlos Bianchi,
Eraldo Jannone Da Silva
Odilson Coimbra Fernandes
Ivan De Domenico Valarelli
Adriano Rogério Cagnin
Eduardo Martins De Castro**

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

***Resumo.** Este trabalho apresenta um estudo sobre a influência da dureza dos discos abrasivos no desempenho do processo de corte em operações do tipo “cut-off” a seco. O aumento da dureza dos discos propiciou em um aumento da força tangencial de corte e da relação G , pela maior capacidade de retenção do grão pelo ligante.*

***Palavras-chave:** Operação Cut-off, Condições de corte, Geometria do cavaco*

1. INTRODUÇÃO

Nos processos de corte com disco abrasivo, a dureza deste tem grande influência sobre sua vida útil. Um disco com maior grau de dureza tende a reter mais o grão abrasivo em sua área de contato. Com o desgaste do grão, há perda da sua capacidade de remoção de material, as forças de corte elevam-se e o calor gerado, pelo atrito entre o grão e a peça, também aumenta. Como o grão gasto permanece retido pelo ligante, esse processo tende a ficar mais evidente à medida em que o desgaste do grão se acentua (cegamento do disco). Caso o grão tenha friabilidade elevada (capacidade em gerar novas arestas de corte), o crescimento da força de corte se dá de modo mais lento, uma vez que com esse aumento o grão passa a ser submetido a maior esforço e acaba fraturando-se e formando novas arestas. Isso se repete até que a parte exposta do abrasivo não seja suficiente para que ocorra a fratura, provocando o arredondamento do topo do grão e o conseqüente cegamento do disco abrasivo.

Já em um disco com menor grau de dureza, o processo descrito acima dificilmente ocorre. O grão abrasivo, à medida em que se desgasta e provoca uma elevação nas forças de corte, tende a ser arrancado do disco. Como a resistência oferecida pelo ligante é baixa, o grão abrasivo se desprende (às vezes inteiro) e permite a ação de um novo grão abrasivo, num processo chamado de auto-afiação.

Segundo Bianchi et al. (1996), não existem critérios consistentes para utilização de discos abrasivos no meio industrial, como na usinagem com ferramentas de arestas cortantes de

geometria definida. Assim, os usuários utilizam discos abrasivos baseados em experiências pessoais, sem critério definido, e freqüentemente desprezam os aspectos de segurança inerentes ao processo.

Este trabalho tem como objetivo estudar a influência da dureza de discos abrasivos no corte de materiais dúcteis em operações do tipo “cut-off”, por meio de mergulho basculante, utilizando-se discos abrasivos de durezas diferentes. Para a realização dos ensaios experimentais serão utilizadas barras de aço ABNT 1020 (diâmetro 5/8”) e discos abrasivos (AR302), com escalas de dureza: normal, 2 pontos acima e 2 pontos abaixo, conforme notação apresentada pela empresa NORTON. Os parâmetros de entrada utilizados para a realização dos ensaios serão: velocidade de corte decrescente $V_s = 80$ m/s (inicia-se o corte com V_s , que decresce proporcionalmente à perda diametral do disco abrasivo), velocidade de mergulho do disco abrasivo na barra $V_f = 3,4$ m/s e as durezas dos discos abrasivos. Para cada tipo de dureza serão realizados três ensaios experimentais como repetibilidade. As variáveis de saída utilizadas serão: força tangencial de corte média F_{tem} [N], tempo de corte [s] e relação G .

2. DUREZA DE FERRAMENTAS ABRASIVAS

Segundo König (1980), entende-se como sendo dureza de um disco abrasivo a resistência que este oferece à remoção de grãos abrasivos da sua superfície de corte, que depende basicamente da resistência de ligação entre o ligante e o grão e da resistência dos elos de ligação entre os grãos.

Para Nussbaum & Dicastilho (1988), a dureza depende da força e da tenacidade com que os grãos estão ligados ao corpo do disco, que é constituído por outros grãos ligados. A heterogeneidade e a presença de porosidade nos discos (dependendo da proporção dos poros) influenciam na dureza do disco abrasivo. Os poros têm a função de diminuir a temperatura na zona de contato disco/peça e de atuar como espaço para o alojamento dos cavacos. Aparentemente, a dureza também é variável em função da friabilidade e do tamanho do grão abrasivo. Quanto maior for o tamanho do grão abrasivo, ou quanto maior for sua friabilidade, aumenta a facilidade em fraturá-lo, onde têm-se a impressão de que o disco abrasivo tem menor grau de dureza. A função de manter o grão em sua posição só é preenchida quando o ligante satisfaz as seguintes exigências: 1) o material do ligante deve ser o suficientemente resistente; 2) o ligante deve formar pontes entre os grãos com seção transversal suficientemente grande e 3) entre o grão abrasivo e o ligante deve existir uma energia de ligação suficientemente elevada para garantir a fixação do grão.

Enquanto que a primeira e a terceira propriedades são obtidas pela seleção do material abrasivo e pelo processo de fabricação, a segunda propriedade é apenas obtida pela relação volumétrica entre os materiais de composição da ferramenta abrasiva (König, 1980). Os demais componentes e suas proporções volumétricas determinam a resistência e a forma das pontes entre os grãos abrasivos. As variações dos diferentes volumes permitem a formulação controlada de discos de forma a estabelecer diferenças lógicas e progressivas em função dos tamanhos de grão, dureza e porosidade para se ter a possibilidade de uma escolha operacional adequada. Assim, segundo Malkin (1989), se for descartada a possibilidade de adições de materiais de enchimento, a ferramenta abrasiva pode ser considerada como um sistema de três fases, constituído de grãos abrasivos, meio ligante e porosidades, determinado pela Eq. (1):

$$VG\% + VL\% + VP\% = 100\% \quad (V) \tag{1}$$

onde $VG\%$ é o percentual de grãos abrasivos no volume total do disco, e $VL\%$ e $VP\%$ são os percentuais volumétricos do ligante e das porosidades, respectivamente.

De acordo com König (1980), para as variações das parcelas dos volumes, existem limites que por um lado são determinados pelas exigências de resistência ao disco abrasivo, e por outro lado, pelas próprias características de fabricação do disco. A título de exemplo, segundo König (1980), os limites para cada parcela para o caso de rebolos são: grãos abrasivos: 68 a 40%; ligante: 24 a 5% e poros: 55 a 17%.

A fabricação de rebolos além desses limites só é possível se forem empregadas técnicas especiais, como por exemplo: a compressão a quente ou o emprego de materiais carburantes na compactação do disco. É através desse método que se define a estrutura do disco abrasivo. Entende-se por estrutura como sendo o volume percentual de abrasivo que é adicionado ao disco. Quanto maior a percentagem, menor o espaço entre os grãos e maior é a densidade do disco. Para este caso, a dureza influencia na espessura teórica máxima do cavaco pois altera a quantidade de grãos que resulta na variação do espaçamento médio entre os grãos abrasivos. Se a estrutura do disco for “aberta” no processo de fabricação (retirando-se grãos abrasivos), deve-se adicionar maior quantidade de ligante. Para König (1980), neste caso a dureza é mantida constante, onde observa-se que a porosidade é constante para cada dureza, da mesma forma que cada percentual de abrasivo é constante para cada estrutura. Para o caso deste trabalho esta afirmativa não se torna válida, pois segundo a empresa Norton, a dureza dos discos abrasivos modifica-se quando se altera o volume de ligante no disco. A dependência entre a estrutura do disco e a relação volume de poros por volume do disco (VP/V) é apresentada na Fig. 1.

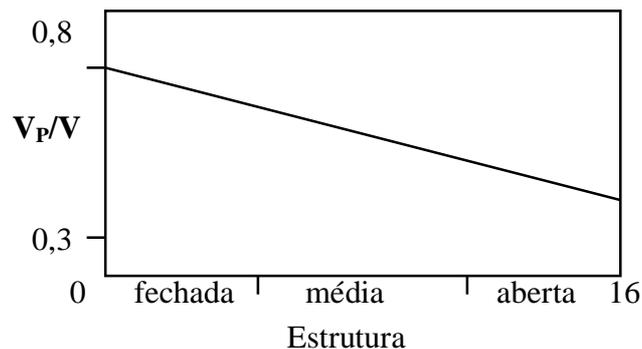


Figura 1 - Relação entre a estrutura do disco abrasivo e VP/V (Nussbaum & Dicastilho, 1988)

A dependência entre a dureza do disco e a relação volume de ligante por volume do disco (VL/V) é apresentada na Fig. 2.

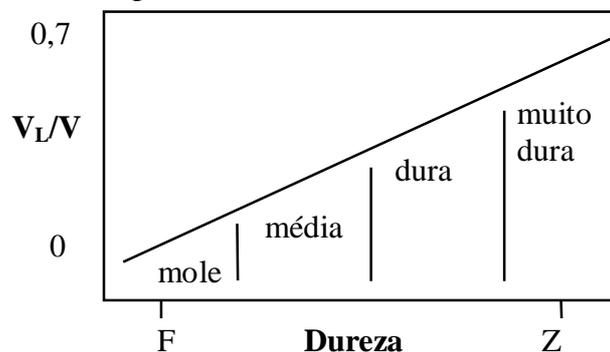


Figura 2: Relação entre a dureza do disco abrasivo e VL/V (Nussbaum & Dicastilho, 1988).

Os comportamentos descritos sobre a dureza de disco explicam a regra prática que é utilizada quando se faz necessária a escolha da dureza de um disco (Vieira Jr., 1992). Para materiais duros, o disco deve ser mole, ao passo que para materiais moles o disco deve ser

duro. Ao se cortar um material com alto grau de dureza, o desgaste do grão é mais intenso e torna-se desejável a auto-afiação (para que a peça não fique queimada). Além disso, o desgaste do ligante pelo cavaco não é tão evidente, uma vez que materiais duros normalmente produzem cavacos curtos e quebradiços. Já no corte de um material de baixo grau de dureza, o desgaste do grão abrasivo é mais lento e, portanto, com menor necessidade de novas camadas de grão. Soma-se a isso a possibilidade de ocorrer o surgimento de novas arestas de corte através da fratura de grãos (conforme a friabilidade do grão), e o fato de que o cavaco produzido no corte de materiais moles é, em geral, longo e dúctil, atuando com maior intensidade sobre o ligante (atrído).

3. ESCOLHA DOS MATERIAIS E DISCOS ABRASIVOS UTILIZADOS

Segundo Snee (1991), os ensaios que envolvem discos abrasivos devem ser o mais abrangente possível e em operações que sejam largamente utilizadas. Desse modo, os discos abrasivos ensaiados foram os do tipo “serralheiro”, fabricados pela empresa NORTON Indústria e Comércio S.A., particularmente interessantes para este trabalho, já que são utilizados na maioria das aplicações, principalmente pelo seu baixo custo e vida longa.

Para a realização dos ensaios experimentais foram utilizadas barras de aço ABNT 1020 (diâmetro 5/8”), similar ao que é encontrado nas serralherias, ou seja, aços-carbono estruturais de baixo teor de carbono e discos abrasivos (AR302), com escalas de dureza: normal (discos 2), 2 pontos acima (discos 3) e 2 pontos abaixo (discos 1), conforme notação apresentada pela empresa NORTON. Este material foi escolhido por ser o mais utilizado no corte com o tipo de disco selecionado, segundo a empresa NORTON.

Segundo a empresa NORTON (1994), 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 20 e 46 mesh, para a 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 a sua dureza na especificação, trata-se de um disco abrasivo duro.

Os discos utilizados foram divididos em três lotes, com três discos cada, fabricados pela empresa Norton apenas para o desenvolvimento deste trabalho, a critério de produção fora de série. São discos abrasivos compostos de ligante resinóide e de grãos abrasivos de óxido de alumínio, onde a única diferença entre os lotes, é o grau de dureza.

Os discos do lote 2 (denominados neste trabalho de discos 2) são considerados como sendo discos de dureza de grau médio, de acordo com uma tabela de dureza da estrutura dos discos abrasivos, exclusiva da Norton. Já os discos 1, possuem dureza de dois pontos menor na escala desta tal tabela, e os discos 3, têm dureza de dois pontos maior.

Apesar de tratar-se de segredo industrial da empresa Norton, o cálculo de dureza através dessa tabela é baseado na retirada ou no acréscimo do ligante utilizado, o que resulta proporcionalmente e respectivamente num menor ou maior grau de dureza.

De acordo com a teoria apresentada sobre a dureza de ferramentas abrasivas, sabe-se que a proporção volumétrica deve ser mantida, respeitando-se a equação (1) e o diagrama ternário de fases. No que diz respeito a esse aspecto, sabe-se que a Norton, ao retirar ligante da estrutura desses discos abrasivos na produção dos mesmos, acrescenta grãos abrasivos na mesma proporção volumétrica, e vice-versa. Desse modo os volumes modificados são compensados por outros, considerando que o volume reservado para a porosidade é mantido constante para os três lotes.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Fig. 3, 4 e 5 são apresentados os resultados de força tangencial média de corte para os discos com dureza dois pontos menor, dureza normal e dureza dois pontos maior. Os parâmetros de entrada são velocidade de corte decrescente (iniciando com 80m/s) e velocidade de mergulho de 3,4 mm/s, utilizando-se aço ABNT 1020 para ser seccionado nos ensaios experimentais. Nas legendas utilizou-se t_c para o tempo de corte, que corresponde ao tempo total para a realização de todos os cortes. De um modo geral as curvas apresentam uma tendência de crescimento brusco da F_{tmc} até atingir um patamar elevado. Posteriormente tenderam a crescer de forma amena e, em seguida, a quase estabilizarem-se.

Observa-se na Fig. 3 que o comportamento das curvas é ascendente, ou seja, F_{tmc} cresce ao longo da execução dos cortes, estabilizando aproximadamente após o corte de número 40. O crescimento brusco da desenvolve-se até aproximadamente o 10º corte.

No caso onde foi utilizado disco com dureza normal, Fig. 4, o crescimento brusco de F_{tmc} ocorre aproximadamente até a execução do 15º corte. Após este ponto, observa-se que o comportamento da curva também é ascendente, mas com um crescimento mais ameno, se comparado com os resultados obtidos com os discos de dureza 2 pontos menor. Assim, a F_{tmc} cresce ao longo da execução dos cortes, estabilizando-se aproximadamente após o corte de número 40. Para os discos com dureza 2 pontos maior, a execução dos ensaios foi prejudicada devido a travamentos repetitivos do disco abrasivo na peça (os discos estavam empenados); o segundo e o terceiro ensaios experimentais não puderam ser realizados até o fim, pois os impactos laterais do disco abrasivo na peça resultaram na elevação da F_{tmc} . Isso também pode ser verificado através da legenda da Fig. 5, a qual apresenta os valores de t_c . O trecho da curva de crescimento brusco de F_{tmc} durou até o 5º corte, e o de crescimento ameno se desenvolveu até o corte de número 40. Comparando-se as Fig. 3, 4 e 5, percebe-se que o comportamento do gráfico da Fig. 5 (com relação ao início do gráfico) difere dos demais, os quais são muito semelhantes entre si (3 e 4).

A explicação física desses fenômenos, avaliados anteriormente, torna-se mais assimilável denominando algumas regiões características desses gráficos apresentados, com o auxílio de uma ilustração esquemática apresentada na Fig. 6, a qual representa a tendência de crescimento da F_{tmc} dos gráficos das Fig. 3, 4 e 5.

O ponto **A** da Fig. 6 representa o primeiro valor de F_{tmc} , (e o início do crescimento brusco da F_{tmc}), o ponto **B** representa o início do crescimento ameno de F_{tmc} , o ponto **C** indica o início da estabilização de F_{tmc} e **D** representa o fim do ensaio experimental. Comparando os gráficos dos ensaios realizados, observa-se que a inclinação do trecho **AB** é maior quanto mais duro é o disco. Inicialmente, os grãos abrasivos estão afiados, o que resulta num valor inicial baixo da F_{tmc} .

Com a elevação da temperatura, e depois que os grãos se soltam da superfície de corte do disco pelo alto valor de F_{tmc} (auto-afiação), os processos de enchimento dos poros pelos cavacos e de desgaste dos grãos abrasivos continuam ocorrendo, porém de forma contínua e constante. Portanto, o estado inicial do disco abrasivo acarreta em valores baixos de F_{tmc} , porém, este valor cresce rápido no início do ensaio. Depois, tende a elevar-se gradualmente (trecho BC) ou estabilizar-se (trecho CD), pois a troca de grãos ocorre de maneira aleatória, mantendo um certo patamar de F_{tmc} , jamais retornando ao valor inicial de F_{tmc} . Assim, se o mecanismo de desgaste do disco abrasivo, ao longo dos cortes, fosse parecido com o comportamento de desgaste encontrado no início da operação de corte, a renovação de grãos seria contínua na superfície de corte do disco.

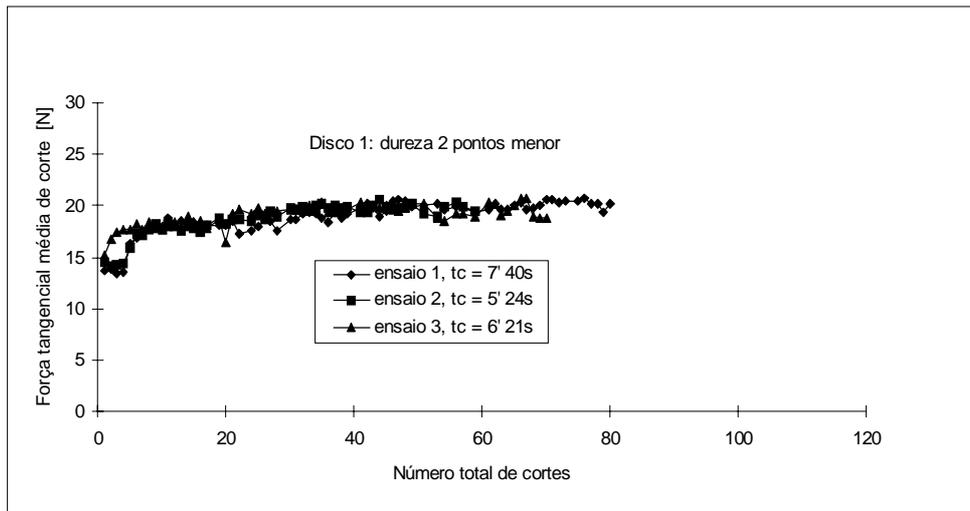


Figura 3 - Resultados de força tangencial média de corte, obtidos com discos de dureza 2 pontos menor.

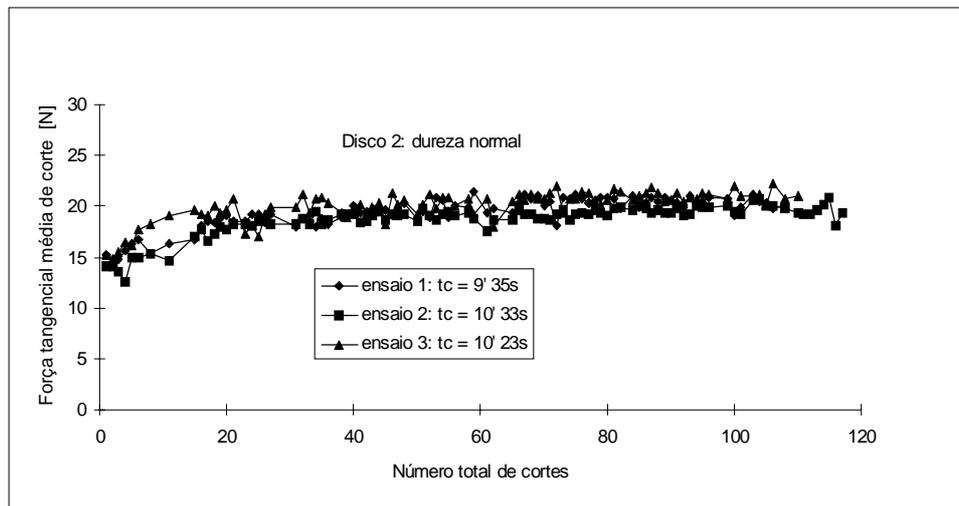


Figura 4 - Resultados de força tangencial média de corte, obtidos com discos de média dureza.

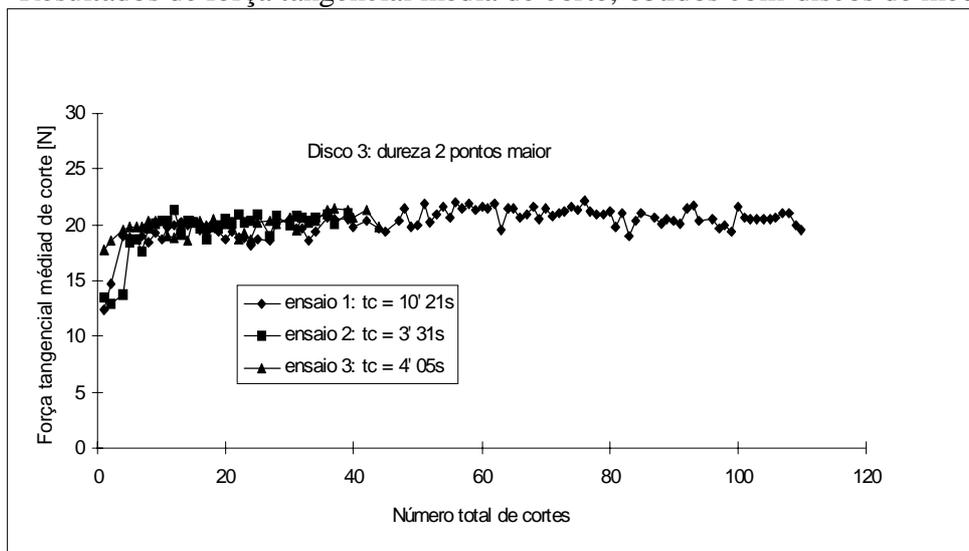


Figura 5 - Resultados de força tangencial média de corte, obtidos com discos de dureza 2 pontos maior.

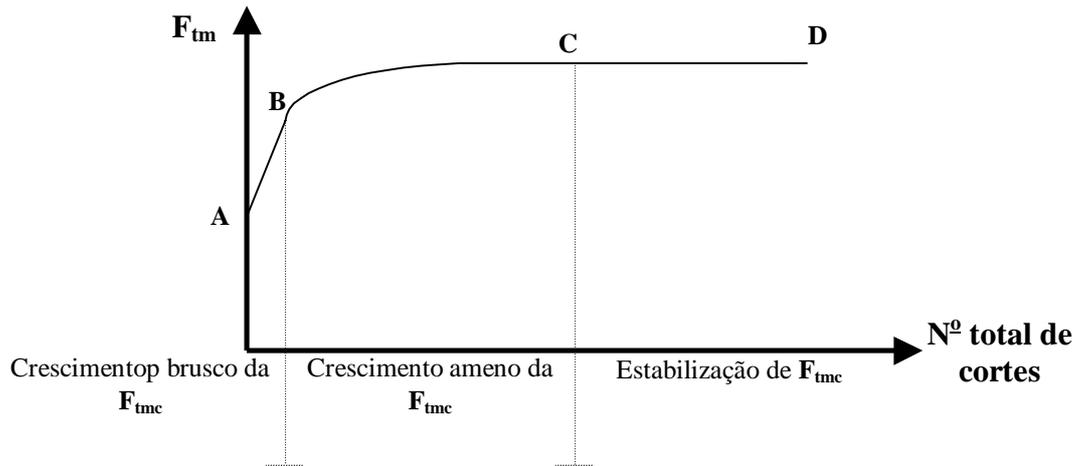


Figura 6 - Ilustração esquemática dos gráficos de F_{tmc} x N° total de cortes.

Nesse caso, o patamar da F_{tmc} operacional ficaria muito próximo ao inicial (ponto A), o que na prática não ocorre. Observa-se que os trechos AB das curvas obtidas nos ensaios com os discos 3 são mais inclinados (e mais curtos) do que os mesmos trechos para os discos 1 e 2, os quais apresentaram comportamentos semelhantes neste trecho do gráfico. Este fenômeno verificado para os discos 3 ocorre porque o crescimento da F_{tmc} no trecho AB é somado ao fato de que os cavacos obtidos com os discos 3, por terem maior dureza, possuem maior espessura teórica do cavaco, (pelo menor do número de grãos) o que preenche os poros presentes na área de contato do disco mais rapidamente. A tendência de crescimento da F_{tmc} dos trechos BC dos gráficos das figuras, comum entre todos os ensaios, é um aspecto esperado.

Segundo Bianchi (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 (pois a velocidade de corte é decrescente), pelos grãos do disco abrasivo.

Nos gráficos de F_{tmc} , os trechos BC tiveram inclinações muito próximas umas das outras, o que mostrou comportamentos semelhantes dos discos abrasivos, independente de seus graus de dureza. Esta avaliação não leva em consideração o valor de F_{tmc} , e sim a tendência de crescimento. Os trechos BC também tiveram durações semelhantes, ou seja, perduraram aproximadamente pelo mesmo número de cortes. As estruturas dos discos 1 geram cavacos de espessuras menores (pelo maior número de grãos abrasivos) e crescentes, o que tenderia a preencher os poros entre os grãos abrasivos mais lentamente, até os efeitos do macro-desgaste se iniciarem, elevando a F_{tmc} de maneira lenta. Como estes discos têm menor grau de dureza, o patamar da F_{tmc} é baixo, pois o ligante, em menor volume, libera mais grãos abrasivos. Em relação aos discos 3, suas estruturas geram cavacos com maiores espessuras, que preenchem os poros mais rapidamente, elevando a F_{tmc} na mesma proporção. Porém, tem-se que esses mesmos cavacos atuam mais sobre o ligante, desgastando-o (diminuindo a seção transversal das pontes de ligação) e diminuindo a F_{tmc} . Assim, um fenômeno compensa o outro, e a F_{tmc} cresce lentamente, mas num patamar mais elevado. Nesse caso, os discos 2 estariam numa situação intermediária a estes dois fenômenos citados, mantendo as características de desgaste de ambos os casos, com uma tendência de crescimento de F_{tmc} semelhante para o trecho BC. Assim, durante o trecho BC, para estes discos de menor grau de dureza a maior influência para o desgaste é a liberação mais rápida de grãos pela menor

quantidade de ligante; enquanto que, quando se trata de discos de maior dureza, o macro-desgaste é predominante. Desse modo, as situações se compensam, apresentando um mesmo comportamento do trecho BC das curvas. Em seguida, surge o trecho de estabilização da F_{tmc} (trecho CD), que se mantém até o fim do ensaio. A partir desse ponto o comportamento dos gráficos das figuras também é comum para todos os gráficos, pois, como os ensaios foram executados de maneira contínua, o fator temperatura somou-se, de forma preponderante, a todos os mecanismos de desgaste, resultando numa equalização da dinâmica de desgaste diametral dos discos abrasivos. Analisando estes gráficos torna-se difícil de se determinar qual ensaio em que se obteve maior força tangencial média de corte, ou seja, o que demandou maior potência do motor de acionamento. Para tanto, foi elaborado um outro gráfico, que apresenta o valor médio total da força tangencial média de corte dos pontos dos gráficos anteriores. Este valor médio foi obtido através da média aritmética de todos os pontos de cada um dos três ensaios e para os três tipos de discos. Deve-se salientar que, em função da não-uniformidade dos valores iniciais de F_{tmc} , foram desconsiderados os vinte primeiros valores para a elaboração deste gráfico. O valor médio total da força tangencial média de corte encontrado em cada experimento é apresentado na Fig. 7. Nota-se que esta força aumenta, a medida em que se analisa os discos com maiores quantidades de ligante (maior dureza) presente em sua composição estrutural.

Desse modo, percebe-se que a dureza do disco abrasivo influencia diretamente na força tangencial de corte necessária para se executar uma operação de corte com discos abrasivos. Neste caso, quanto maior o grau de dureza do disco abrasivo, maior o respectivo valor médio da força tangencial de corte. A repetibilidade aplicada nos ensaios (três amostras por tipo de disco) foi de substancial importância para a determinação desta afirmativa, apesar de, segundo a literatura consultada, a utilização desta prática não é um procedimento comum em ensaios com ferramentas abrasivas. A variável denominada número de cortes demonstra a vida da ferramenta abrasiva, pois quanto mais peças um disco de corte seccionar, maior é a vida útil deste disco.

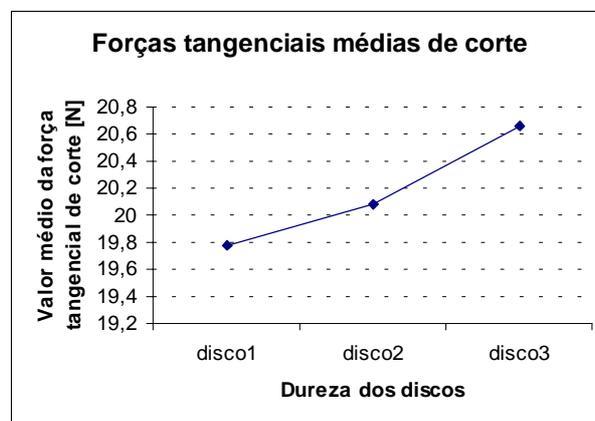


Figura 7 - Valores médios totais das forças tangenciais médias dos gráficos anteriores.

A Fig. 8 apresenta o número total médio de cortes executados nos ensaios, com a demonstração do desvio padrão dos valores envolvidos no cálculo da média, para cada tipo de disco. A análise foi prejudicada porque no caso dos ensaios dos discos 3 ocorreram os travamentos já citados anteriormente, que resultou no baixo valor do número total médio de cortes para os discos 3. Entretanto, percebe-se uma tendência de crescimento deste valor dos discos 1 para os discos 2. Além disso, o valor do desvio padrão para os discos 3 foi muito elevado, o que comprova, caso não ocorressem os travamentos de dois discos de grau de dureza 3.

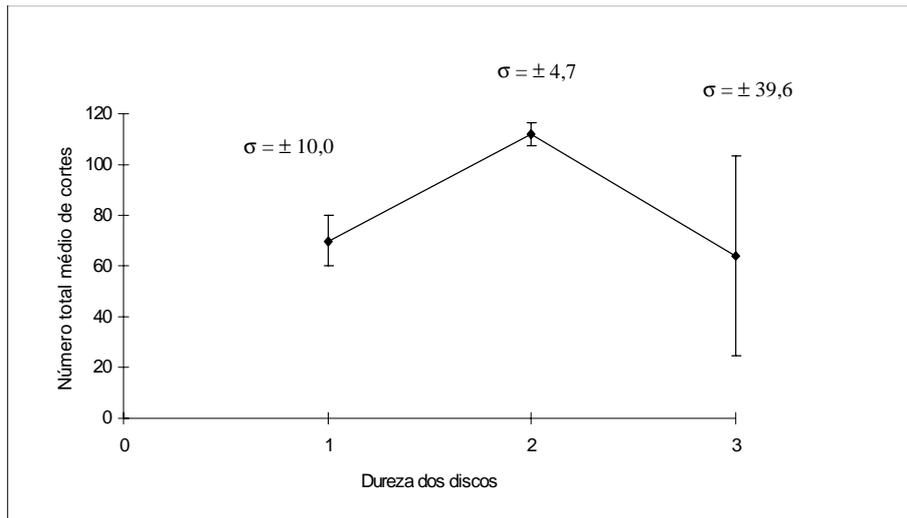


Figura 8 - Número total médio de cortes executados nos ensaios.

Uma forma prática de se avaliar o comportamento de discos abrasivos submetidos a diversas condições de corte é através da relação **G**. Trata-se de uma variável que é facilmente quantificada e interpretada, principalmente pela utilização mais comum deste tipo de disco abrasivo, que é o corte de materiais sem a necessidade de controle dos possíveis erros geométricos da peça e de sua rugosidade superficial. Na Fig. 9 são apresentados os resultados de relação **G** média, em função da dureza dos três tipos de discos abrasivos estudados. Estes valores mostram que, mesmo com o crescimento da espessura teórica máxima do cavaco (em função do aumento da dureza dos discos e com a diminuição do número de grãos na estrutura dos discos), a relação **G** tendeu a crescer. Neste caso, a ação erosiva da geometria do cavaco sobre o ligante não é tão significativa, pois mesmo com a existência desse macro-degaste, o volume crescente de ligante garante o aumento da relação **G**. A análise deste gráfico também foi prejudicada (discos 3), pelo mesmo motivo citado no item anterior.

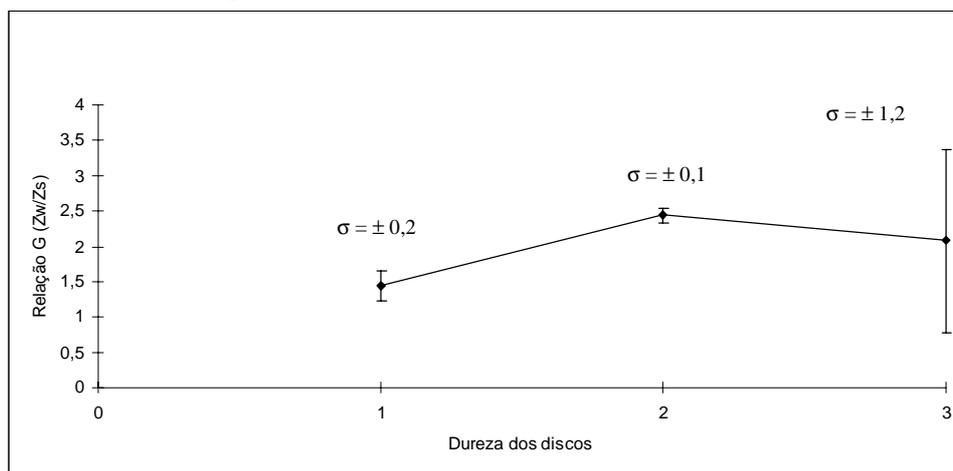


Figura 9 - Dados da relação **G** média obtidos nos ensaios.

Do mesmo modo, percebe-se uma tendência de crescimento deste valor dos discos 1 para os discos 2. O valor do desvio padrão para os discos 3 também foi muito elevado, o que comprova, caso não ocorressem os travamentos de dois discos de grau de dureza 3.

5. CONCLUSÕES

Dos resultados obtidos pode-se concluir que:

- 1) os ensaios com os discos 1 e 2 apresentaram boa repetibilidade em relação a todas as variáveis de saída, com exceção dos ensaios dos discos 3, em função dos travamentos;
- 2) o valor médio das forças tangenciais de corte cresceu com o aumento da dureza das estruturas dos discos abrasivos de corte; número de cortes médio apresentado pelos discos abrasivos de corte estudados tendeu a crescer quando a dureza das estruturas dos mesmos aumentou;
- 3) a relação G , tendeu a crescer com o aumento da dureza da estrutura dos discos abrasivos de corte estudados, pois quanto mais ligante presente na estrutura, as seções transversais das pontes de ligação são maiores, resistindo mais ao macro-desgaste causado pela ação erosiva dos cavacos (que também têm suas espessuras máximas teóricas crescentes com o aumento da dureza da estrutura do disco e da redução do número de grãos) sobre o ligante.

REFERÊNCIAS

- Bianchi, E.C., Yokoyama, E.M., Sanchez, L.E.A., Gonçalves, G.M.B., Kobayashi, Y., Fernandes, O.C., Valarelli, I.D.D., Aguiar, P.R., 1996. Otimização do processo de corte com discos abrasivos. In: Congresso Norte Nordeste de Engenharia Mecânica, 4, 1996, Recife. Anais ... Recife: Associação Brasileira de Ciências Mecânicas, p. 301 - 306.
- Bianchi, E.C., 1997, Estudo do comportamento de discos abrasivos, em operações do tipo "cut-off" por mergulho basculante, submetidos a diversas condições de corte sem refrigeração. Bauru, 131p. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Engenharia - UNESP - Campus de Bauru.
- König, W., 1980, "Fertigungsverfahren Band 2 - Schleifen, Honen, Laepten", VDI Verlag - Duesseldorf.
- Malkin, S., 1989, Grinding technology: theory and applications of machining with abrasives. England: Ellis Horwood Limited, 275p.
- Norton, 1994, NTP043: normas técnicas de produtos. São Paulo: gerência de produto - abrasivos / engenharia de produto, 89 p. (mimeogr.)
- Nussbaum, G. Ch. e Dicastilho, J. M. L., 1988, Discos & Abrasivos: tecnologia básica. São Paulo: Ícone. v.3, c.4, p.414-21.
- Snee, J., 1991, Are You Making the Most of Your Cut-Off Operation? Welding Journal, v. 2, n. 7, p. 60-2.
- Vieira Jr., M., 1996, Avaliação da dureza de rebolos em trabalho através do uso da emissão acústica na dressagem. São Carlos, p.1-35. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

THE STUDY OF THE INFLUENCE OF THE ABRASIVE DISC'S HARDNESS IN THE BEHAVIOR OF THE CUTTING FORCE

Abstract. *This paper shows a research about the study of the chip's geometry generated in the diving cut-off operation, under several cutting conditions. As a result it was possible to verify an increase in the cutting tangential force and in the G ratio, due to the higher bond's retention capacity, which decrease the numbers of abrasive grains released.*

Key words: *Cut-off operation, Cutting conditions, Chip's geometry*