

DESGASTE DE FERRAMENTAS DE AÇO ABNT 1045 USADAS NA USINAGEM POR ABRASÃO ULTRASSONORA

Sebastien Prat

Henara Lillian Costa

Alberto Arnaldo Raslan

Universidade Federal de Uberlândia, Dep. Ciênc. Físicas, Lab. de Tribologia e Materiais

Resumo. Neste trabalho, teve-se como objetivo avaliar a influência de variações microestruturais e propriedades mecânicas do material utilizado na construção de ferramentas para usinagem por abrasão ultrassonora sobre sua resistência ao desgaste. Para tanto, foram fabricadas ferramentas de aço ABNT 1045 em três condições de microestrutura e dureza – encruado, recozido e normalizado. A condição encruado corresponde ao material como recebido. As condições normalizado e recozido foram obtidas por tratamentos térmicos. Os parâmetros de usinagem foram mantidos constantes e o material usinado foi o vidro sodo-cálcico. Os resultados mostraram encruamento nas ferramentas recozida e normalizada. Na ferramenta do aço como recebido houve encruamento adicional. O encruamento ficou restrito à região de contato da ferramenta com a interface abrasivo / vidro. O martelamento da ferramenta sobre o abrasivo provoca o desgaste no vidro. Em compensação, a ferramenta sofre deformação plástica, encruamento e micro-fraturas, provocando também o seu desgaste. A ferramenta do material como recebido apresentou uma melhor resistência ao desgaste, em função da sua dureza mais elevada, associada a uma elevada tenacidade. Isto permitiu concluir que a realização dos tratamentos térmicos de recozimento e normalização no aço ABNT 1045 não é uma prática recomendável para fabricar ferramentas de usinagem por abrasão ultrassonora.

Palavras-chave: Usinagem, abrasão ultrassonora, desgaste da ferramenta, encruamento.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda de componentes com geometrias complexas e o uso de novos materiais de elevada dureza como as cerâmicas vêm exigindo novas técnicas de processamento [Sheppard, 1987].

A possibilidade de usinar materiais duros e frágeis por ultra-som foi inicialmente proposta por Woods e Loonis [1927]. Modernamente, esta técnica foi incorporada aos equipamentos do tipo Sonic-Mill [1992], conseguindo-se acuracidade aliada a integridade dos materiais usinados [Raslan e de Mello, 1996]. Como não existe contato entre a ferramenta e a amostra, não ocorre geração de calor e de tensões mecânicas na amostra. Além disso, não há contaminação química [Snoeys, 1986].

O processo básico de usinagem por abrasão ultrassonora encontra-se bem descrito na literatura [Markov 1966]. Um gerador fornece um sinal elétrico a um transdutor piezelétrico inverso, que transforma esses sinais em vibrações mecânicas. Este sinal elétrico deve ser de alta frequência, situado na faixa de 20000 Hz. A amplitude das vibrações produzidas é amplificada por um amplificador mecânico e são transmitidas à ferramenta através de um sonotrodo. Devido às altas frequências de trabalho, o sonotrodo deve possuir alta resistência à fadiga. Neste sentido, o material que tem apresentado melhor desempenho é o titânio. A amplitude de vibração produzida depende do sinal fornecido e é da ordem de centésimos de

milímetros na direção axial.

A propagação da onda ocorre desde o transdutor piezelétrico até a ponta do conjunto sonotrodo/ferramenta. O conjunto pode ser monobloco ou ter a ferramenta intercambiável. Em geral, as ferramentas são intercambiáveis e têm a forma negativa da geometria desejada na peça. O fluxo de abrasivo na interface ferramenta/amostra propicia a usinagem. Este fluxo, que é bombeado até a interface, é composto de pó abrasivo (geralmente alumina, carbetto de silício ou carbetto de boro) e um líquido diluidor (geralmente água) [Neppiras e Foskett 1956].

O número de variáveis no processo de usinagem é grande e diversificado, podendo-se citar o tipo, a granulometria e a concentração do abrasivo, o fluido diluidor, a intensidade do fluxo, a amplitude e a frequência de vibração, o material usinado e a geometria e o material da ferramenta. O controle adequado destes parâmetros definirá a obtenção de acuracidade e de acabamento de boa qualidade [Neppiras e Foskett 1956; Kops 1961; Kaczmarek 1966; Markov 1966; Sheppard 1987, Komaraiah e Reddy 1993].

Dentre estes parâmetros, a geometria e o material utilizado na confecção da ferramenta são de fundamental importância. Em especial, deve-se conhecer e controlar o desgaste sofrido pela ferramenta.

A literatura recomenda o uso de materiais macios como o cobre e o latão [Neppiras e Foskett, 1956]. Com esta recomendação, que tem sido geralmente seguida em trabalhos de usinagem por abrasão ultrassônica, espera-se ter como mecanismo de desgaste predominante na ferramenta microcorte e/ou microsulcamento. Desta forma, o seu desgaste será bem menor que o provocado na peça, onde o principal mecanismo responsável pela remoção de material é o microlascamento. Além disso, seu desgaste é mais uniforme, o que mantém a geometria inicial da ferramenta [Raslan e de Mello 1996]. Mais recentemente, Komaraiah e Reddy [1993] propuseram o uso de materiais mais resistentes, como os aços inoxidáveis, os aços-prata e as super-ligas. Entretanto, estes materiais não são facilmente encontrados no mercado, são relativamente caros e de usinagem difícil.

A possibilidade de utilização de um material mais barato e de usinagem relativamente fácil seria uma interessante alternativa. Desta forma, neste trabalho pretende-se estudar a utilização de um aço ABNT 1045 na construção de ferramentas para usinagem por abrasão ultra-sonora. Este material, além de ser barato e de grande disponibilidade no mercado, é de fácil usinagem e apresenta a flexibilidade de ter suas propriedades mecânicas alteradas por tratamentos térmicos. Para atingir-se os objetivos pretendidos, será estudado o efeito da microestrutura e das conseqüentes propriedades mecânicas sobre a resistência ao desgaste de ferramentas de aço ABNT 1045. A alteração da microestrutura será feita mediante realização de tratamentos térmicos de recozimento e normalização.

PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

O equipamento utilizado para usinagem ultra-sonora é esquematizado na Fig. 1. Neste equipamento a forma do sonotrodo é cônica. A ferramenta é afixada, por rosqueamento, na ponta do sonotrodo. Todo o conjunto conversor/amplificador/sonotrodo/ferramenta é montado em um bloco deslizante vertical e equilibrado por um sistema de contrapesos pneumáticos. O abrasivo é bombeado à interface ferramenta/amostra. A fixação da amostra ao equipamento é feita por um dispositivo magnético.

Os parâmetros utilizados na usinagem são mostrados na Tabela 1.

O material usado na fabricação das ferramentas foi uma barra de aço ABNT 1045, sextavada e com 12,7 mm de diâmetro. A rosca para engate no sonotrodo e o furo na ponta da ferramenta foram feitas em torno mecânico. A furação da ferramenta foi feita após usinagem da rosca. A Fig. 2 mostra a geometria da ferramenta produzida, podendo-se observar o

formato sextavado da mesma. Esta figura mostra também o aspecto de uma peça de vidro produzida, com o detalhe do furo e da pastilha cilíndrica.

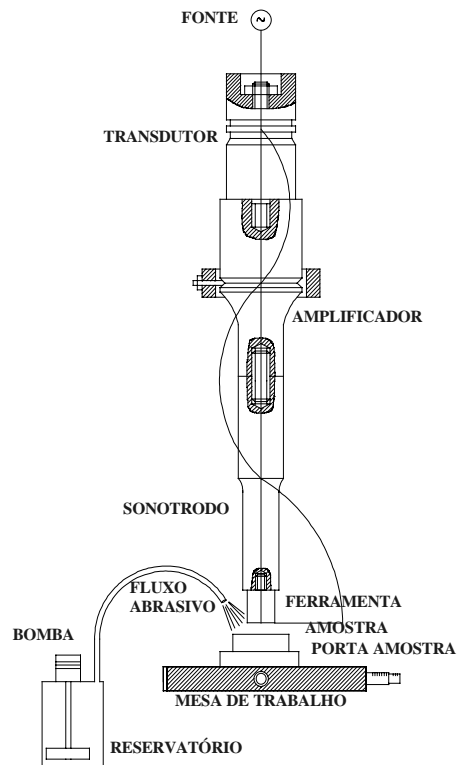


Figura 1 - Equipamento de usinagem por abrasão ultra-sonora.

Tabela 1. Parâmetros da usinagem por abrasão ultra-sonora.

Potência, W	1790	Abrasivo	B ₄ C
Amplitude	Mínima	Diluidor	Água
Granulometria	400 mesh	Concentração, % Vol.	40
Carga, N	103	Fluxo, m ³ /s	56 x 10 ⁻⁶

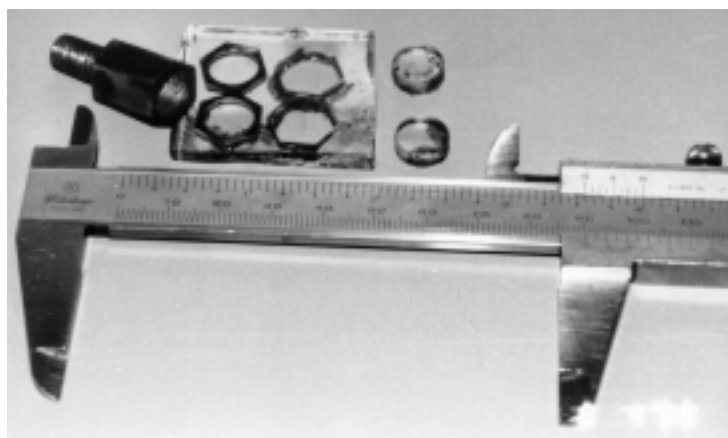


Figura 2 - Geometria de uma ferramenta usada na usinagem por abrasão ultra-sonora e aspecto da amostra de vidro após a usinagem .

Para a realização dos tratamentos térmicos na ferramentas, foram adotados os parâmetros clássicos da literatura [Chiaverini 1990], ou seja, aquecimento a 860°C por meia hora em forno mufla, seguindo-se um resfriamento ao forno para o recozimento e um resfriamento ao ar para a normalização.

As durezas das ferramentas recozidas foram medidas antes e após o seu processo de furação, com o objetivo de verificar uma possível introdução de encruamento na ferramenta durante o seu processo de usinagem. Além disso, testes de dureza foram realizados em todas as ferramentas antes e após a usinagem por abrasão, com o objetivo de verificar o encruamento ocorrido durante o processo. As medidas de dureza Vickers foram feitas em durômetro Wolpert, adotando-se uma média de, pelo menos, três resultados. Após as usinagens, foi levantado um perfil de durezas, a partir da extremidade da ferramenta, com impressões distanciadas de 0,5 mm entre si.

Para a análise micrográfica, uma das superfícies laterais da ferramenta foi lixada, polida e atacada quimicamente com reativo Nital. As observações foram feitas em banco metalográfico Neophot. A fração volumétrica média de perlita foi determinada com contagens sobre uma malha de 36 pontos [Padilha 1982]. O tamanho médio de grão ferrítico foi determinado com contagens da interseção dos contornos sobre uma reta.

O material usinado foi o vidro sodo-cálcico na forma de lâminas com 3×10^{-3} m de espessura, aproximadamente. Este material foi escolhido pelo fato de ser fartamente disponível e barato. As placas foram coladas sobre uma chapa de aço com cera especial. O conjunto era afixado no dispositivo porta-amostras por magnetismo. Os dados foram obtidos com a realização de três testes com cada uma das ferramentas.

O desgaste das ferramentas foi avaliado por gravimetria interrompida [Franco et al. 1989]. As medidas de perda de massa foram feitas com balança analítica de precisão de 10^{-8} Kg.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As micro-estruturas do aço nas condições de como-recebido, recozido e normalizado são mostradas nas Figs. 3, 4 e 5, antes e após as usinagens.

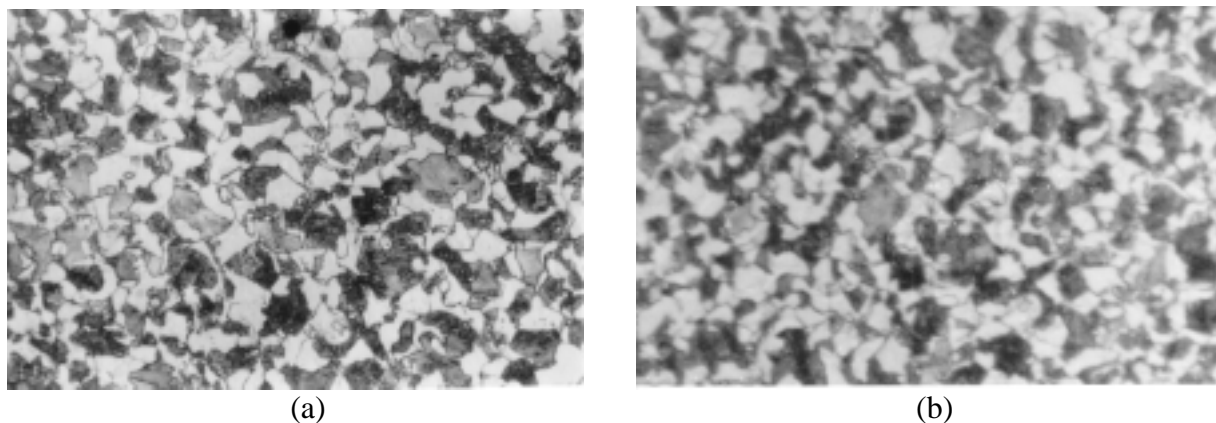


Figura 3 - Microestruturas do aço como-recebido antes (a) e após (b) a usinagem.

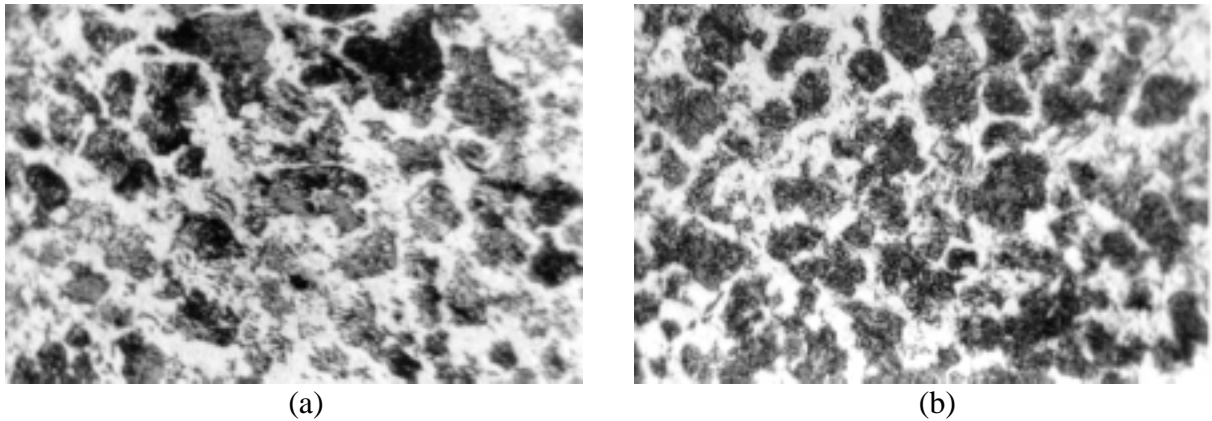


Figura 4 - Micro-estruturas do aço recozido antes (a) e após (b) a usinagem.

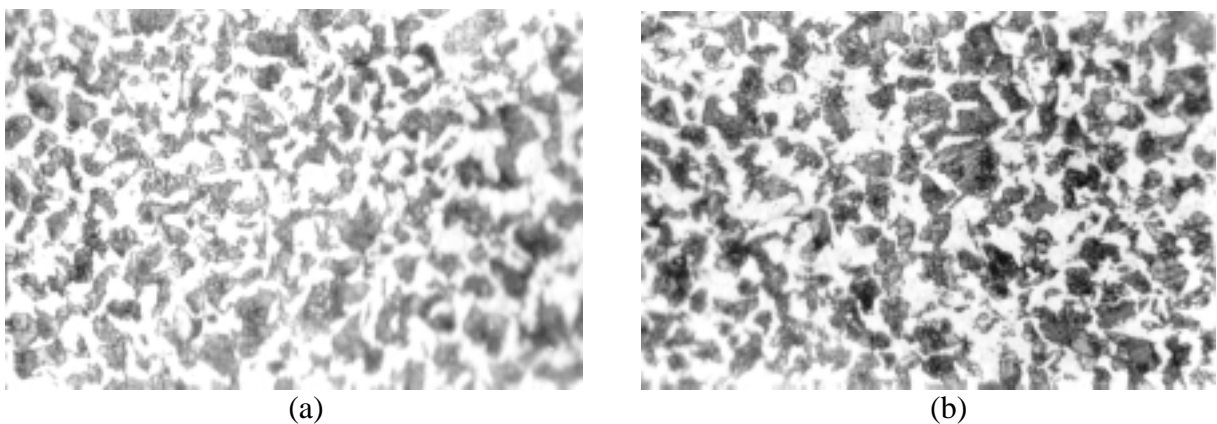


Figura 5 - Micro-estruturas do aço normalizado antes (a) e após (b) a usinagem.

Os resultados relativos à fração volumétrica de perlita (fvp) e tamanho de grão ferrítico (tgf), com os respectivos desvios padrão, estão dados na Tabela 2, para o aço nas condições de como-recebido, recozido e normalizado.

Tabela 2 - Resultados da metalografia quantitativa.

	Material		
	como-recebido	Recozido	Normalizado
fvp, %	18,5±1,2	18,2±1,1	16,1±1,8
tgf, μm	7,8±0,49	11,6±0,51	7.9±0.61

Através das microestruturas apresentadas e dos dados de metalografia quantitativa (Tabela 2), observa-se que houve pequenas alterações no tamanho de grão ferrítico e na fração volumétrica de perlita, nas três condições estudadas.

A Tabela 3 apresenta os dados relativos às durezas antes e após o processo de furação da ferramenta recozida. Observa-se que a operação de furação não provocou encruamento das peças.

Os perfis de dureza, antes e após a usinagem, são mostrados na Tabela 4. Na Fig. 6 são mostradas as curvas relativas relativas ao perfil de dureza das ferramentas, após a usinagem.

Tabela 3 - Durezas nas ferramenta antes e após o processo de furação.

	Dureza Vickers, Kgf/mm ² , [N/m ²]
Recozido, não furado	177,22+1.16 [1,736 x 10 ⁹]
Recozido, furado	178,22+1.66 [1,746 x 10 ⁹]

Tabela 4 - Perfil de dureza das ferramentas antes e após a usinagem.

Hv (Kgf/mm ²) [N/m ² , x 10 ⁹]	Distância da extremidade					
	1	2	3	4	5	6
Recozido, antes	179 [1,754]	180 [1,764]	181 [1,773]	180 [1,764]	181 [1,773]	178 [1,744]
Recozido, após	193 [1,891]	189 [1,852]	187 [1,832]	181 [1,773]	179 [1,754]	176 [1,724]
Normalizado, antes	195 [1,911]	193 [1,891]	192 [1,881]	194 [1,901]	193 [1,891]	192 [1,881]
Normalizado, após	206 [2,018]	201 [1,969]	200 [1,960]	196 [1,920]	189 [1,852]	188 [1,842]
Como-recebido, antes	258 [2,328]	260 [2,548]	259 [2,538]	260 [2,548]	260 [2,548]	260 [2,548]
Como recebido, após	290 [2,842]	286 [2,802]	280 [2,744]	260 [2,548]	259 [2,538]	260 [2,548]

Os dados apresentados na Tabela 4 mostram que o aço como-recebido apresentou uma dureza elevada, o que pode indicar um estado de encruamento prévio. Após os tratamentos térmicos, a dureza nas condições de recozido e normalizado decresceu significativamente. Pela maior velocidade de resfriamento, o aço normalizado apresentou uma dureza superior à do aço recozido. De acordo com a literatura, estes eram os resultados esperados [Chiaverini 1990]. Além disso, a Fig. 6 evidencia a acentuação do encruamento do aço como recebido e a ocorrência de encruamento nas condições recozido e normalizado, provocadas pela usinagem por abrasão. Entretanto, nas condições recozido e normalizado, a dureza não chega a atingir os níveis observados no aço como recebido. Isto indica que, apesar de ocorrer encruamento, as condições de usinagem usadas não permitiram atingir a máxima dureza nas amostras recozida e normalizada. À medida em que se afasta da extremidade da ferramenta, a dureza decresce, para as três condições, estabilizando-se a partir de 3,5 mm. O encruamento mais acentuado na ponta da ferramenta confirmou o resultado esperado, uma vez que o processo de martelamento ocorre na interface ferramenta/abrasivo/vidro.

Os dados relativos à evolução da perda de massa das ferramentas após as usinagens são mostrados na Fig. 7. Apresenta-se os resultados relativos a três testes consecutivos executados com uma mesma ferramenta, denominados Teste 1, Teste 2 e Teste 3

As perdas de massa nos aços normalizado e recozido foram, respectivamente, semelhante e superior à perda de massa do aço como-recebido. Isto mostra que os tratamentos térmicos usados não promoveram melhoras no desempenho das ferramentas, além de introduzirem um custo adicional de fabricação. O melhor desempenho do aço como-recebido pode ser atribuído à sua dureza mais alta, que propicia uma melhor resistência ao desgaste. Desta forma, conclui-se que a tenacidade, em princípio menor no material encruado, não deve ser crítica no processo.

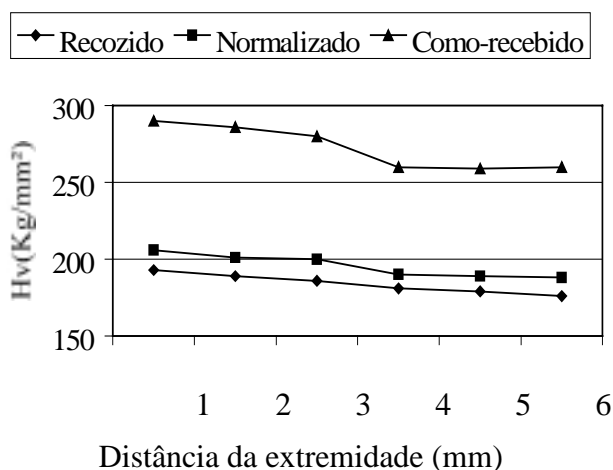


Figura 6 - Perfis de dureza das ferramentas após a usinagem.

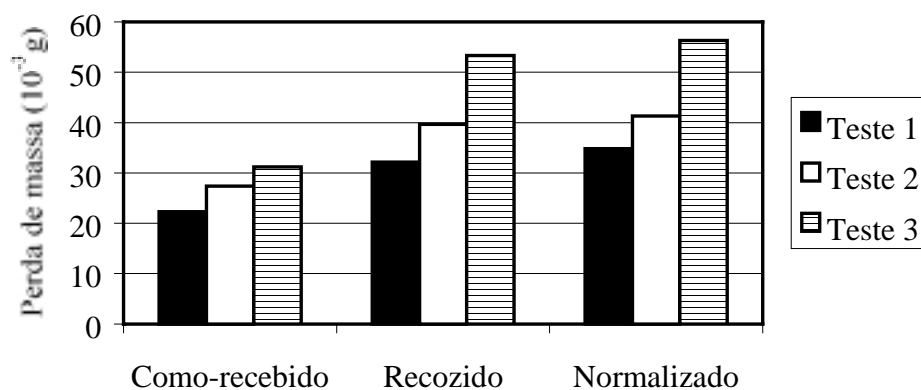


Figura 7 – Evolução da perda de massa em três testes consecutivos para as ferramentas nas condições como recebido, normalizado e recozido.

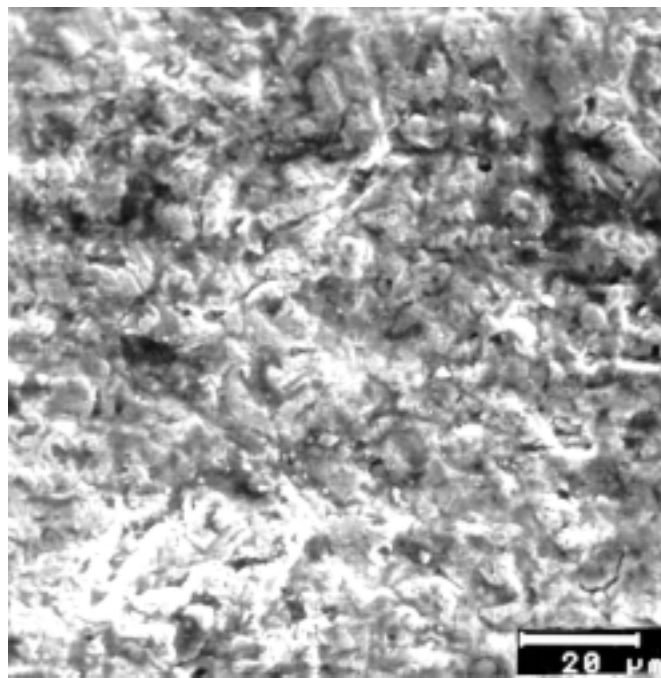
Observa-se também que a perda de massa acentua-se de teste para teste, em uma mesma ferramenta. Os reflexos do trabalho mecânico durante a usinagem não ficam restritos à ponta da ferramenta, conforme mostrou o perfil de dureza. Os processos de fratura também devem estar sendo acumulativos e gradativos, conforme se afasta da ponta da ferramenta. Assim, à medida que a ferramenta se desgasta, a nova interface estará menos resistente ao desgaste do que a anterior. O melhor desempenho da ferramenta “virgem” reforça esta hipótese. Um estudo mais sistemático por microscopia eletrônica de varredura (MEV) poderá elucidar melhor este fenômeno.

O aspecto da superfície desgastada de uma das ferramentas, mostrado na Fig. 8, tem como objetivo confirmar as hipóteses acima. A Fig. 8-a apresenta uma visão global da superfície desgastada. Na Fig. 8-b, com maior aumento, é possível identificar a presença nítida de trincas. Em virtude do tipo de movimento da ferramenta sobre a peça, é razoável supor um mecanismo de fadiga superficial, que leva ao destacamento de grandes lascas de material à medida em que as trincas se propagam.

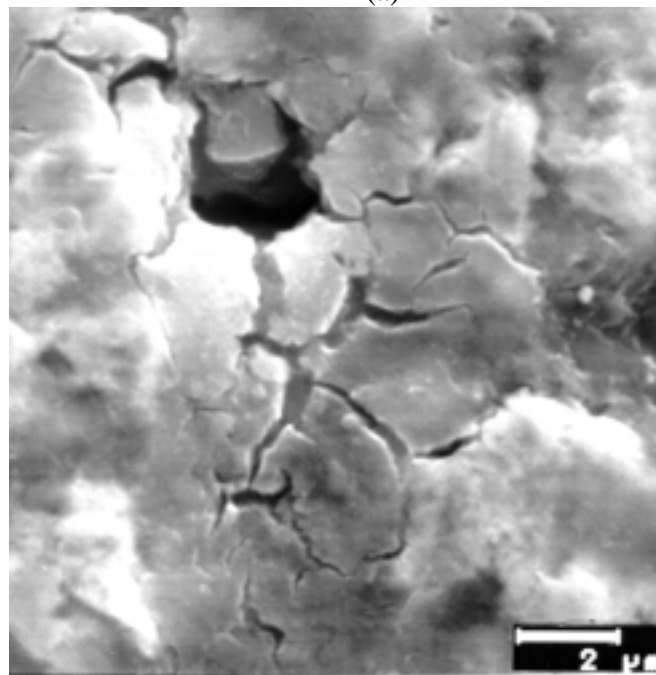
Pelos resultados obtidos neste trabalho, ficou evidenciado que a recomendação de materiais muito macios não é adequada. É possível que outros tratamentos térmicos, como a têmpera e revenido, possam melhorar o desempenho do aço ABNT 1045, de modo que ele

possa inclusive apresentar desempenho comparável ou superior aos aços-prata, às super ligas e aos aços inox estudados por Komaraiah e Reddy [1993], a um custo bem menor.

Deve-se ainda salientar que os parâmetros usados na usinagem por abrasão ultra-sonora foram mantidos fixos. É bastante provável que a alteração em algum ou alguns destes parâmetros, como a carga estática aplicada sobre o sonotrodo, a amplitude de vibração, o tipo e a granulometria do abrasivo, bem como o material a ser usinado, provoque alterações nos resultados aqui obtidos. Da mesma forma, estas alterações devem ocorrer no caso de se variar as dimensões e a geometria da ferramenta.



(a)



(b)

Figura 8 - Aspecto da superfície desgastada de uma ferramenta. MEV: (b) – região ampliada de (a).

CONCLUSÕES

A partir de amostras de aço-carbono ABNT 1045, foram produzidas ferramentas de usinagem por abrasão ultra-sonora, com diferentes condições de tratamento térmico. Na usinagem de lâminas de vidro, os resultados mostraram que:

- 1 - A realização dos tratamentos térmicos de recozimento e normalização não melhorou o desempenho das ferramentas;
- 2 - o desempenho fica prejudicado com a reutilização da mesma ferramenta em usinagens posteriores;
- 3 - ocorre encruamento durante o processo de usinagem, que se acentua à medida em que se aproxima da ponta das ferramentas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao programa RECOPE/FINEP, pelo apoio financeiro ao trabalho, bem como ao programa de cooperação CAPES/COFECUB, pela concessão de bolsa ao aluno Sebastien Pratt.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHIAVERINI, V., 1990, Aços e ferros fundidos, ABM, São Paulo.
- FRANCO, S.D. et al., 1989, Abordagem global do estudo do processo abrasivo. Parte II: Desenvolvimento e avaliação de abrasômetro a dois e três corpos, Anais do I Seminário brasileiro de materiais resistentes ao desgaste, ABM/EPUSP, São Paulo – SP, pp. 47-62.
- KACZMAREK, J. et al, 1966, Ultrasonic grinding economics, Journal of Engineering for Industry, pp. 449-454.
- KOMARAIHAH, M. & REDDY, P.N., 1991, Relative performance of tool materials in ultrasonic machining, Wear, vol. 161, pp. 1-10.
- KOPS, L., 1961, Probing the ultrasonic cutting process, Metalworking Production, pp. 51-57.
- MARKOV, A.I., 1966, Ultrasonic machining of intractable materials, Ilife Books Ltda.
- NEPPIRAS, E.A. & FOSKETT, R.D., 1956, Ultrasonic machining, philips technical review, vol. 18, n.11, pp. 325-334.
- PADILHA, F., 1982, Técnicas de análise microestrutural, EDUSP, São Paulo.
- RASLAN, A. A. & DE MELLO, J.D.B., 1996, Usinagem por abrasão ultrassonora: princípios e potencialidades, Anais do XII CBECIMAT, Águas de Lindóia, pp. 461-464.
- SHEPPARD, L.H., 1987, Machining of advanced materials, Advanced Materials and Processes, vol. 12, pp. 40-48.
- SNOYES,R., 1986, Non-conventional machining techniques- the state of art, Advances in Non-Traditional Machining, pp. 1-20.
- SONIC-MILL, 1992, Instruction manual for all stationary sonic-mill models, USA.
- WOODS, R.W. & LOOMIS, A.L., The physical and biological effects of high frequency sound-waves of great intensity, Phil. Mag., vol. 4, n. 22, 1927, p.427-?.

WEAR OF ABNT 1045 STEEL TOOLS USED IN ABRASIVE ULTRASONIC MACHINING

Abstract. *The aim of this work was to evaluate the influence of microstructure variations and mechanical properties of the material used in tools for abrasive ultrasonic machining on their*

wear resistance. In this way, ABNT 1045 steel tools were produced in three different conditions: work-hardened, annealed and normalized. The work-hardened condition corresponds to the material as received. The annealed and normalized conditions were obtained by heat treatments. The machining parameters were kept constant and sodium-calcium glass was machined. The results evidenced work hardening in the annealed and normalized tools. In the as-received tool, there was additional work hardening. The work hardening was restricted to the region of contact between tool and abrasive/glass interface. The hammering of the tool upon the abrasive promotes wear in the glass. The tool is subject to plastic deformation, work hardening, microfracture and wear. The tool produced with the as-received material presented the best wear resistance because it has the highest hardness, associated to a relatively good toughness. It was concluded that the heat treatments are not a recommendable practice to produce tools used in the abrasive ultrasonic machining.

Key words: Abrasive ultrasonic machining, tool wear, work hardening.