



ANÁLISE DA VIDA DAS FERRAMENTAS NO TORNEAMENTO DE AÇOS ENDURECIDOS

Hidekasu Matsumoto

Universidade Estadual Paulista (UNESP), Departamento de Engenharia Mecânica
Cx. P. 31 – 15.385-000 – Ilha Solteira, SP, Brasil, E-Mail: hidekasu@dem.feis.unesp.br

Anselmo E. Diniz

Universidade Estadual de Campinas, Departamento de Engenharia de Fabricação
Cx. P. 6122 – 13083-970 – Campinas, SP, Brasil, E-Mail: anselmo@fem.unicamp.br

Resumo. *Verificou-se a possibilidade de obter uma qualidade de torneamento compatível com a retificação e analisou-se a vida e a forma de desgaste das ferramentas de corte de nitreto de boro cúbico policristalino (PCBN) e cerâmica mista ($Al_2O_3 + TiC$) no torneamento de aços endurecidos. Utilizou-se um torno CNC convencional de 22kW de potência e já com algum desgaste devido à utilização. O material usinado foi o aço ABNT 52100 temperado e revenido, com dureza média de 60 HRC. Como critério de vida utilizou-se a rugosidade média ($Ra \leq 0,6 \mu m$). Foram medidas as dimensões e a rugosidade média das peças e analisadas as formas de desgaste e a vida das ferramentas de corte. Os resultados obtidos levaram a concluir que, em muitos casos, é possível substituir o processo de retificação pelo torneamento e obter uma vida suficientemente longa das ferramentas de PCBN e cerâmica mista. para a aplicação industrial.*

Palavras-chave: *Torneamento de aços endurecidos, Usinagem, Ferramentas cerâmicas, Ferramentas de CBN*

1. INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento dos materiais para ferramenta de corte como as cerâmicas e o nitreto de boro cúbico (CBN), além do desenvolvimento de máquinas-ferramenta mais rígidas e com maior rotação, tornou-se possível o torneamento de aços endurecidos com dureza média em torno de 60 HRC (Rockwell C).

O torneamento de aços endurecidos tem, em muitos casos, substituídos com vantagens o processo de retificação. As principais vantagens deste processo são (Tönshoff et. al., 1995; Klocke et al., 1995): possibilidade de eliminar etapas de fabricação, maior produtividade, máquinas-ferramenta mais simples e de menor custo, possibilidade de execução de operações múltiplas em uma só fixação da peça, flexibilização do processo, menor custo das ferramentas de

corte e superfícies da peça menos afetada pelo calor. Em geral são utilizados tornos de alta rigidez e de grande potência.

Apesar das evidentes vantagens do torneamento de aços endurecidos em relação à retificação, as aplicações industriais têm sido pequenas se comparadas com as possibilidades de aplicações. Os motivos são a falta de conhecimento de alguns parâmetros como a qualidade dimensional e superficial da peça, vida da ferramenta de corte e a necessidade de se analisar individualmente cada aplicação, levando em consideração o tipo e a condição da peça, requisitos de projeto, os equipamentos disponíveis e suas condições e o tamanho do lote de peças (König et al., 1993; Abrão & Aspinwall, 1996).

Para se obter qualidade e produtividade através do processo de torneamento de aços endurecidos, faz-se necessário a utilização de ferramentas de corte confeccionados com materiais que atendam a alguns requisitos, tais como (König et al., 1984): alta dureza à temperatura ambiente e à quente, alta resistência à ruptura transversal (maior que 390 N/mm^2), alta tenacidade à fratura, alta resistência à compressão, alta resistência ao choque térmico e alta resistência às reações químicas. Atualmente, as ferramentas de corte existentes no mercado que atendem à maioria dos requisitos, são as confeccionadas com materiais cerâmicos e com CBN. A seguir, serão feitas algumas considerações sobre as ferramentas utilizadas neste trabalho:

Cerâmica mista. Faz parte do grupo de ferramentas cerâmicas a base de alumina, contendo 25 a 40% de carboneto de titânio em volume, como uma segunda fase dispersa na matriz de alumina ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$), conhecida também como cerâmica preta. Uma outra composição mais recente (~1983), contém aproximadamente 23% em peso de nitreto de titânio (TiN) mais TiC, disperso na matriz de alumina. Esse material é de cor marrom escuro e possui maior resistência à ruptura transversal, maior dureza e maior condutividade térmica do que as demais cerâmicas, tendo assim, uma maior área de atuação. (Brinksmeier & Bartsch, 1988; Jack, 1986).

A presença de TiC e TiN na matriz de alumina permite que estas ferramentas sejam empregadas com velocidades de corte mais elevadas, com menor risco de fratura súbita. Além disso, a alumina mista apresenta uma dureza a quente superior que outras ferramentas à base de alumina, podendo ser utilizadas na usinagem de aços temperados e ferros fundidos de elevada dureza (Gruss, 1988). Estas ferramentas são indicadas pelo fabricante de ferramentas Sandvik (1994) e por pesquisadores (Costa, 1993; Abrão & Aspinwall, 1996), para o torneamento de aços endurecidos.

Nitreto de boro cúbico policristalino (PCBN). O nitreto de boro cúbico é um material sintético obtido pela reação química:



É quimicamente mais estável que o diamante, podendo ser utilizado na usinagem de ligas ferrosas sem que ocorra grande desgaste por difusão. Sua tenacidade é similar ao material cerâmico baseado em nitretos e cerca de duas vezes a da alumina. Sua dureza só é superada pelo diamante, sendo quase duas vezes a dureza da alumina (Sorrel & McCartney, 1986).

Existem diversos tipos de PCBN no mercado. Cada fabricante usa diferentes materiais e quantidades de aglomerantes e diferentes tamanhos e distribuição de partículas (Costa, 1993; Abrão, Aspinwall & Wise, 1995). Porém, de uma maneira geral, pode-se dividir os PCBNs em duas categorias, segundo suas aplicações:

- PCBNs para usinagem em desbaste (a_p entre 0,5 e 8 mm);
- PCBNs para usinagem em acabamento (a_p menor que 0,5 mm).

Os PCBNs para desbaste possuem maior concentração de nitreto de boro cúbico (90% em volume) o que aumenta a ligação cristal com cristal e faz sua tenacidade aumentar. Além disto, devido ao alto teor de CBN, estes materiais são os que apresentam maior dureza dentre os PCBNs. Devido a estas propriedades, estes CBNs são muito eficientes quando o mecanismo predominante de desgaste é a abrasão (onde não se verifica um desgaste adesivo ou químico) e/ou onde estão presentes forças de corte muito altas ou corte interrompido, como no torneamento e no fresamento em desbaste de aços endurecidos e ferro fundido cinzento onde as durezas envolvidas estão entre 45 e 65 HRC

Os PCBNs indicados para o acabamento são aqueles onde uma fase cerâmica é adicionada, de tal maneira que ele possui menor tenacidade e dureza, mas melhor estabilidade química e térmica que os PCBNs indicados para desbaste, já que a cerâmica possui, em geral, maior resistência à difusão que o CBN.

Um fator importante que deve ser levado em consideração na comparação das ferramentas com alto e baixo teor de nitreto de boro cúbico é a sua condutividade térmica, pois nas operações de acabamento a geração de calor é muita alta. Uma ferramenta com maior teor de CBN tem maior condutividade térmica, o que faz com que o calor seja retirado da zona de corte, não causando o amolecimento necessário do material da peça ao seu redor, o que facilitaria o corte. Já um material com menor teor de CBN e maior teor cerâmico, tem condutividade térmica menor, não retirando muito calor da região de corte, o que possibilita um certo amolecimento da peça ao redor da região de corte e facilita a usinagem (Bossom, 1991).

No torneamento de aços endurecidos, a vida da ferramenta de corte tem sido um fator de grande importância devido ao seu alto custo e o pouco conhecimento em relação ao comportamento quanto ao desgaste e avarias da ferramenta, principalmente quando se utiliza máquinas-ferramentas disponíveis no mercado.

Neste trabalho, procurou-se verificar a possibilidade de obter uma qualidade de usinagem compatível com a retificação e analisar a vida e o desgaste das ferramentas de corte de PCBN e cerâmica mista ($Al_2O_3 + TiC$), utilizando tornos CNC convencionais e já com algum tempo de utilização, uma vez que esta é a situação das maioria das empresas brasileiras.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A máquina-ferramenta utilizada foi um torno CNC, modelo Cosmos, marca ROMI, fabricado em 1985, potência do motor principal de 22 kW, mancais e guias convencionais (não hidrostáticos).

Utilizou-se ferramentas de corte de PCBN com 55% de CBN (BZN 8000 da General Electric), brasado sobre um inserto de metal duro de geometria triangular, raio de ponta de 0,8 mm, chanfro de 0,1 mm x 20°, ângulo de posição $\chi_r = 90^\circ$, ângulo de saída $\gamma_n = -6^\circ$, ângulo de inclinação $\lambda_s = -6^\circ$, ferramentas cerâmicas de $Al_2O_3 + TiC$ (CC 650 da Sandvik) de geometria triangular com furo para fixação (TNGA 16 04 08 T01020), raio de ponta de 0,8 mm, chanfro de 0,1 mm x 20°, ângulo de posição $\chi_r = 90^\circ$, ângulo de saída $\gamma_n = -6^\circ$, ângulo de inclinação $\lambda_s = -6^\circ$.

Os corpos de prova usinados foram peças cilíndricas de aço ABNT 52100 (AISI E52100), temperados e revenidos com dureza na faixa de 58 a 62 HRC (Rockwell C), com diâmetro de 59

mm por 250 mm de comprimento e com furo de centro. Todos os corpos de prova foram pré-usinados com tolerância h8.

Os valores da rugosidade foram medidos com um rugosímetro Mitutoyo SurfTest 211, ajustado para um “cut-off” de 0,8 mm.

Todos os ensaios foram realizados com a peça fixada entre placa e ponto, avanço $f = 0,08$ mm/volta, profundidade de usinagem $a_p = 0,4$ mm e foram repetidos pelo menos quatro vezes. As velocidades de corte utilizadas foram 108, 130 e 150 m/min.

O critério de vida adotado foi o da rugosidade média, sendo o ensaio interrompido quando se atingia $Ra = 0,6 \mu\text{m}$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a usinagem de cada corpo de prova, foram medidas as dimensões e a rugosidade. Conseguiu-se obter dimensões dentro da tolerância h5 ($-13 \mu\text{m}$ para diâmetro de 50 a 80 mm) e rugosidade média abaixo de $0,6 \mu\text{m}$ (Ra), tanto para as ferramentas de PCBN como para as cerâmicas. Assim, pode-se concluir que o processo de torneamento consegue obter uma qualidade dimensional e superficial equivalente ao processo de retificação, mesmo utilizando um torno com projeto mecânico convencional e com um certo tempo de uso.

A seguir serão analisadas as vidas das ferramentas de cortes utilizadas nos ensaios. Adotou-se como critério de vida a rugosidade média (Ra) da peça com valor igual ou inferior a $0,6 \mu\text{m}$.

A figura 1 apresenta a média de vida das ferramentas de corte (em comprimento de corte L_c), para três diferentes velocidades de corte. Utilizou-se ferramentas de nitreto de boro cúbico policristalino (PCBN) e cerâmica mista com geometrias idênticas.

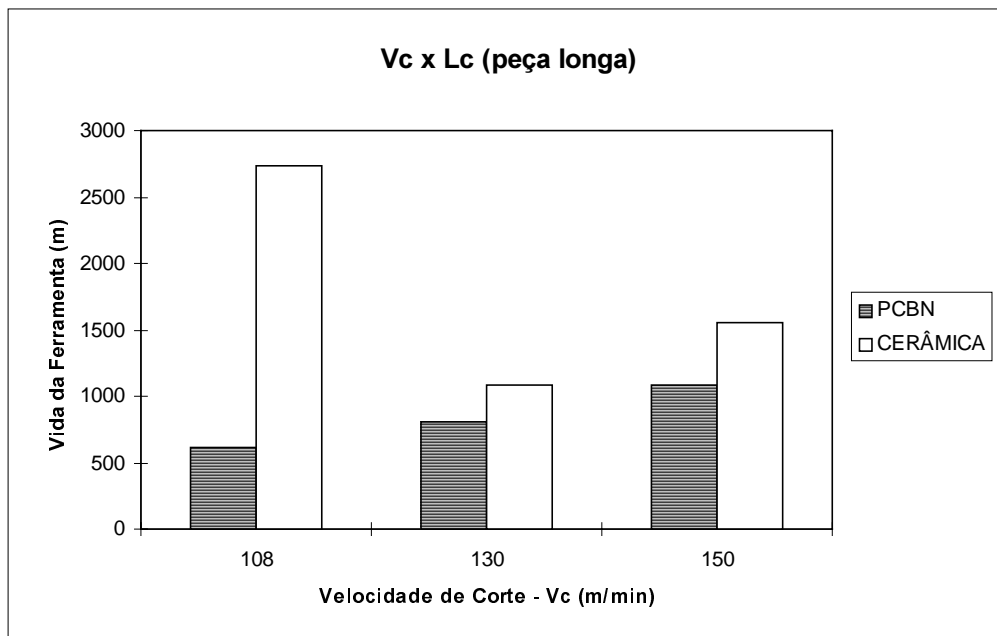


Figura 1 - Média de vida das ferramentas de corte no torneamento de peças longas.

Pela análise da figura 1 pode-se dizer que para a velocidade de corte de 108 m/min., as ferramentas cerâmicas apresentaram melhores resultados do que as de PCBN. As ferramentas de

PCBN se desgastaram rapidamente, com dispersão pequena e apresentando tanto desgaste de flanco (V_B), quanto desgaste de cratera acentuados (fig. 2), ultrapassando em pouco tempo o limite de rugosidade adotado como fim de vida da ferramenta ($R_a = 0,6 \mu\text{m}$). Já, as ferramentas cerâmicas apresentaram uma vida média mais longa, porém, verificou-se uma dispersão das vidas bastante alta devido ao lascamento da aresta de corte verificado em todas as ferramentas (fig. 3). Dependendo do tipo de lascamento, a ponta de corte mantinha ainda um perfil próximo ao original, mantendo a rugosidade dentro da tolerância desejada, prolongando assim a vida da ferramenta. Mas em outros casos, o lascamento prejudicava bastante a forma da ponta da ferramenta, fazendo com que se atingisse rapidamente o fim da vida, causando assim uma dispersão alta. O lascamento e a forma resultante da ponta são fenômenos imprevisíveis, causados por exemplo, pelo choque da ferramenta com algum ponto duro da peça ou alguma vibração momentânea.

Para a velocidade de 130 m/min as ferramentas de PCBN apresentaram um valor médio das vidas maior do que para $v_c=108$ m/min, porém a dispersão também aumentou. Os desgastes da ferramenta também foram de cratera e de flanco, porém, observou-se em alguns casos o lascamento da aresta de corte, causado provavelmente pelo aumento da vibração do sistema devido ao aumento da velocidade de corte. As ferramentas cerâmicas triangulares apresentaram uma média de vida menor do que para a velocidade de 108 m/min. e também uma dispersão bastante alta. Também com esta velocidade de corte, o lascamento da ponta predominou com relação aos desgastes, porém com maior tendência de quebra das pastilhas, devido ao aumento de vibração do sistema.. Os efeitos do aumento da vibração foram predominantes nas ferramentas cerâmicas onde a vida diminuiu com o crescimento da velocidade de corte (aumentou o lascamento). Nas ferramentas de PCBN a explicação para o ocorrido pode ser outra. De acordo com Bosson, (1991), muitas vezes quando se usina peças endurecidas com ferramentas com alta dureza a quente, a vida da ferramenta aumenta com o aumento da velocidade de corte, pois a temperatura na região de corte aumenta, facilitando a deformação e cisalhamento do cavaco e não acentuando substancialmente o desgaste da ferramenta, já que a mesma resiste bastante ao calor. Apesar de terem ocorridos alguns lascamentos, o principal fator para a determinação do fim da vida da ferramenta de PCBN foi o desgaste (tanto o de flanco, quanto o de cratera) e não o lascamento. Assim, a vida da ferramenta cresceu com o aumento de v_c .

Para a velocidade de corte de 150 m/min as ferramentas de PCBN apresentaram um valor médio das vidas maior do que para $v_c = 108$ e 130 m/min, porém a dispersão também foi bem maior do que para os dois casos. Os desgastes da ferramenta também foram de cratera e de flanco, porém, observou-se um maior índice de lascamento da aresta de corte, causado pelo aumento da vibração do sistema. As explicações para o ocorrido são as mesmas do caso anterior, ou seja, a facilidade de deformação e cisalhamento do cavaco com o aumento da temperatura e, ainda, a predominância dos desgastes em relação aos lascamentos. Com as ferramentas cerâmicas, conseguiu-se realizar apenas um ensaio com $v_c = 150$ m/min, pois, apesar de várias tentativas, as ferramentas se quebraram ou se lascaram de tal forma que a rugosidade superou $R_a = 0,6 \mu\text{m}$ já no início do ensaio. Assim, a vida de 1500 m da figura 1 está sendo apresentada apenas como curiosidade, para demonstrar que é eventualmente possível se obter vidas relativamente grandes. Por isso, na figura 1, para $v_c = 150$ m/min está representado apenas a vida de um ensaio, e não a média de vários ensaios.

Pelo que foi observado, as dispersões das vidas das ferramentas cerâmicas são muito maiores que as de PCBN. O motivo das dispersões das ferramentas cerâmicas terem sido maiores, é como já citado, devido à forma de deterioração da ponta da ferramenta. Na ferramenta de PCBN, por

ela ser mais tenaz que a cerâmica, predominam os desgastes em relação ao lascamento, que são fenômenos contínuos e previsíveis, ao contrário dos lascamentos. Nas ferramentas cerâmicas, devido à sua baixa tenacidade, predominaram os lascamentos e conseqüentemente a dispersão da vida da ferramenta foi maior. A razão das ferramentas de PCBN terem se desgastado mais que as de cerâmica tem explicação na forma do cavaco, que será discutido logo a seguir.

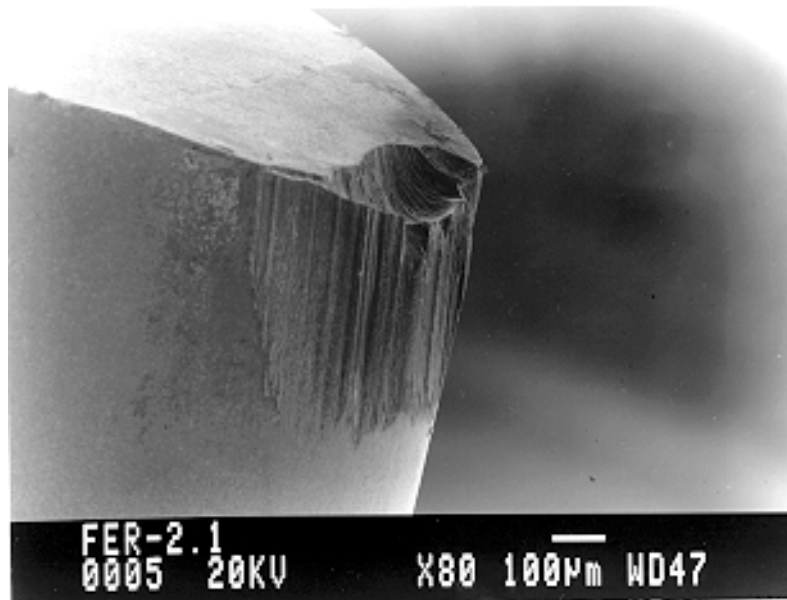


Figura 2 – Forma de desgaste da ferramenta de PCBN. $v_c = 108$ m/min.

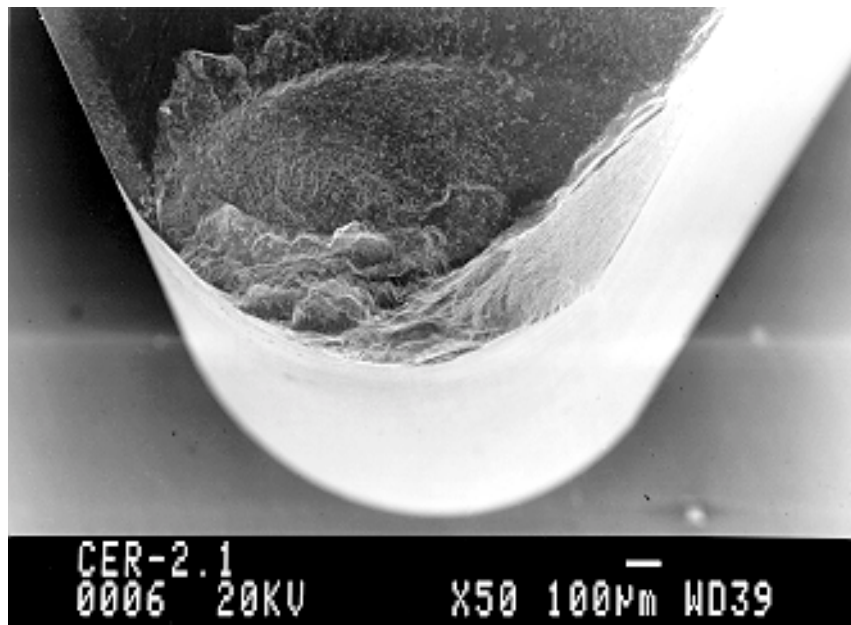


Figura 3. Forma de desgaste da ferramenta cerâmica. $v_c = 108$ m/min.

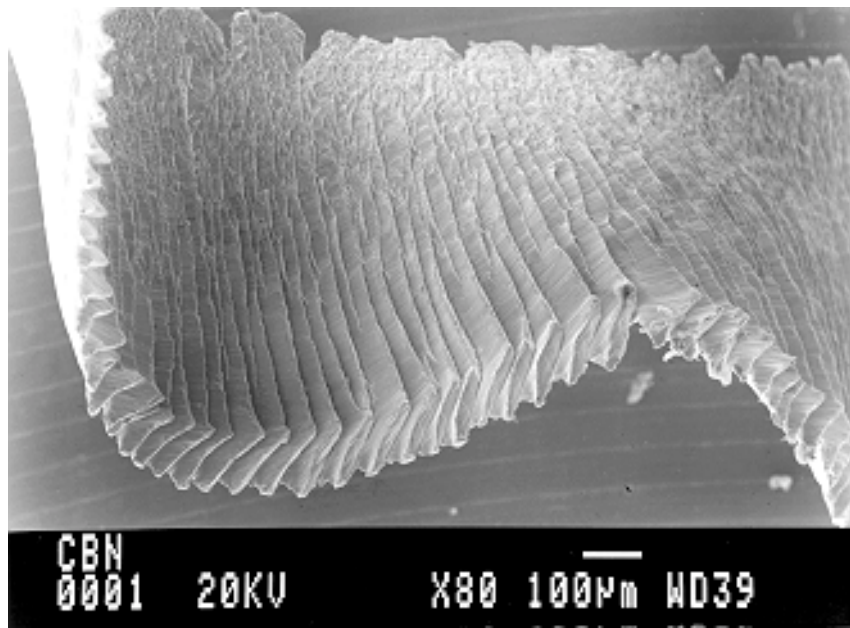


Figura 4 - Cavaco obtido utilizando ferramenta de PCBN, $v_c = 108$ m/min, $f = 0,08$ mm/volta, $a_p = 0,4$ mm.

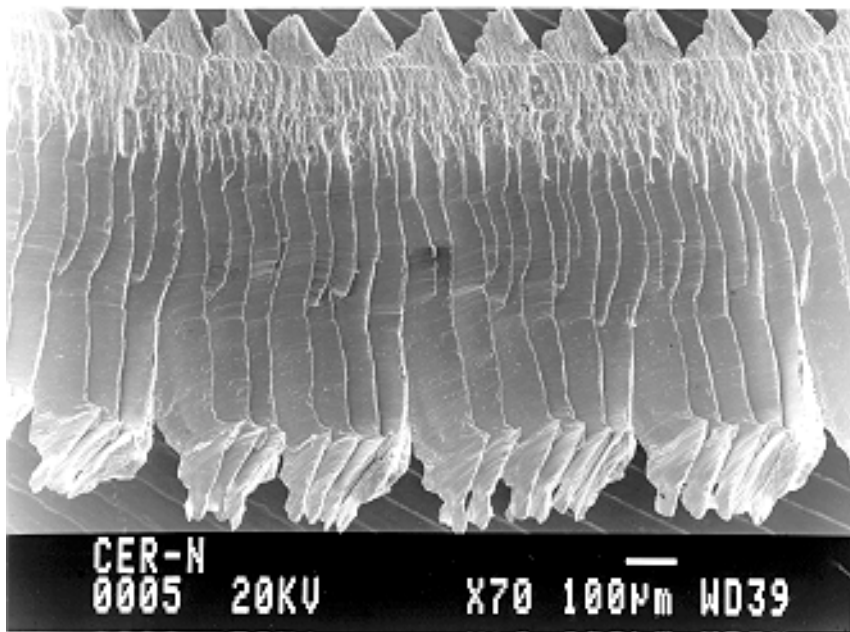


Figura 5 - Cavaco obtido utilizando ferramenta cerâmica, $v_c = 108$ m/min, $f = 0,08$ mm/volta, $a_p = 0,4$ mm.

Quanto à forma dos cavacos, tanto para as ferramentas de PCBN como para as cerâmicas, obteve-se cavacos com forma de “dente de serra” com os segmentos interligados através de uma pequena porção de material, dando ao cavaco uma aparência de cavaco contínuo (fig. 4 e 5.). Isto

coincide com as formas obtidas por Nakayama, (1974); König et al., (1990) e Costa, (1993). Os segmentos de cavacos interligados causam grande atrito entre o cavaco e a superfície de saída da ferramenta, ocasionando elevado nível de desgaste de cratera, o que foi observado principalmente nas ferramentas de PCBN, que são pouco resistentes a esse tipo de desgaste, como citado por Cook, (1973), pois tem menor estabilidade química do que a cerâmica e, portanto, menor resistência à difusão, principal causadora deste tipo de desgaste.

4. CONCLUSÕES

- O processo de torneamento consegue obter uma qualidade dimensional e superficial equivalente ao processo de retificação, mesmo utilizando um torno com projeto mecânico convencional e com um certo tempo de uso.
- As ferramentas cerâmicas se apresentaram melhores do que as de PCBN no tocante à vida da ferramenta. As formas de desgaste das ferramentas de PCBN elevaram rapidamente a rugosidade das peças ultrapassando o valor de rugosidade ($R_a = 0,6 \mu\text{m}$) adotado como critério de fim de vida.
- Embora tenha apresentado média de vida maior, as ferramentas cerâmicas tiveram em geral, maior dispersão devido à forma de lascamento das arestas de corte que se acomodaram e mantiveram ou até mesmo reduziram a rugosidade, ou se deterioraram e atingiram o fim da vida.
- Apesar das ferramentas cerâmicas terem se apresentado melhor que as de PCBN em termos de vida da ferramenta, a sua utilização em ambiente industrial deve ser adotada com ressalvas, pois devido à sua grande dispersão, o seu emprego fica bastante limitado. Essa é uma das razões pela qual as ferramentas de PCBN são mais utilizadas no ambiente industrial.
- Para as ferramentas cerâmicas utilizadas nas condições deste trabalho, a velocidade de corte $v_c = 108 \text{ m/min}$. está mais próxima da indicada, pois nesta velocidade a vibração do sistema é menor e, com isso, as ferramentas são menos suscetíveis à quebra do que para as velocidades maiores e são também mais resistente ao desgaste, e conseqüentemente, têm maior vida.
- Para o conjunto máquina-ferramenta/ferramenta de corte/dispositivos de fixação/peça utilizado neste trabalho, a velocidade de corte de 150 m/min . não é recomendada devido ao alto índice de quebra das ferramentas.
- Quando se utiliza ferramentas de PCBN, a vida da ferramenta cresce com o aumento da velocidade de corte, pelo menos dentro do intervalo de velocidades utilizado neste trabalho.

5. REFERÊNCIAS

- ABRÃO, A. M.; ASPINWALL, D. K.; WISE, M. L. H. 1995, Tool wear, cutting forces and temperature evaluation when turning hardened bearing steel using PCBN and ceramic tool materials. *Proceeding of the Thirty-First International Matador Conference*. Manchester, p. 209 - 216.
- ABRÃO, A. M.; ASPINWALL, D. K., 1996. The surface integrity of turned and ground hardened bearing steel. *Wear*, v. 196, p. 279 - 284.
- BOOTHROYD, G.; EAGLE, J. M.; CHISHOLM, W., 1967. Effects of Tool Flank wear on the temperatures generated during metal cutting. *Proceedings of the 8th International Machine Tool Design and Research Conferency*, p. 667 - 680.

- BORDUI, D., 1988, Hard-part machining with ceramic inserts. *Ceramic Bulletin*, v. 67, No. 6, p.298 - 304.
- BOSSON, P. K., 1991. The selection of high and low CBN cutting tool materials for automotive applications. *Superabrasive*, p. 1139 - 1160.
- BRINKSMEIER, E.; BARTSCH, S., 1988, Ceramic tools - material characteristics and load types determine wear mechanisms. *Annals of the CIRP*, v.37/1, p. 97-100.
- COOK, N. H., 1973. Tool wear and tool life. *Journal of Engineering for Industry*, november, p. 931 - 938.
- COSTA, Dalberto Dias. *Análise dos Parâmetros de torneamento de aços endurecidos*. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP. 1993. 110p. Dissertação de mestrado.
- GRUSS, W. W., 1988. Ceramic tools improve cutting performance. *American Ceramic Society Bulletin*, 67 (6), p. 993 - 996.
- JACK, D. H., 1982, Sialon tool materials. *Metals Technology*, v. 9, p. 297 - 301.
- KLOCKE, F.; KÖNIG, W.; KOCH, K. F.; SCHROETER, R. B., 1995. Torneamento de precisão: uma opção para o acabamento de peças de aço temperado. *Máquinas e Metais*, p. 56 - 67, outubro 1995.
- KÖNIG, W. et al., 1984. Machining of hard materials. *Annals of the CIRP*, v. 33/2, p. 417-427.
- KÖNIG, W.; KLINGER, M.; LINK, R., 1990, Machining hard materials with geometrically defined cutting edges field of applications and limitations. *Annals of the CIRP*, v. 39/1, p. 61-64.
- KÖNIG, W.; BERKTOLD, A.; KOCH, K. F., 1993, Turning versus grinding - a comparison of surface integrity aspects and attainable accuracies, *Annals of the CIRP*, v. 42/1, p. 39-43.
- NAKAYAMA, K., 1974, The Formation of "Saw Toothed Chip" In Metal Cutting. *Proc. International Conference on Production Engineer*, p. 572-577.
- SANDVIK COROMANT, 1994, Ferramentas de Tornear. Catálogo Técnico do Fabricante.
- SORRELL, C.C.; McCARTNEY, E. R., 1986, Engineering nitrogen ceramics: silicon nitride, β' -sialon and cubic boron nitride. *Materials Forum*, v. 9/3, p. 148 - 161.
- TÖNSHOFF, H. K.; WBKER, H. G.; BRANDT, D., 1995. Hard turning - influences on the workpiece properties. *Transactions of NAMRI/SME*, V. XXIII, p. 215 - 220.

TOOLS LIFE ANALYSIS FOR TURNING HARDENED STEEL

Abstract. *It was verified the possibility of obtaining the turning quality compatible with the grinding and it was also analysed cutting tool lives of PCBN and mixed ceramic (Al_2O_3) in the turning of hardened steels. It was employed a CNC conventional lathe of 22 kW of power and with some wear, due to previous utilisation. The machined materials was the quenched and tempered ABNT 52100 (AISI E 52100) steel, with an average hardness of 60 HRC. As a tool life criterion was employed an average surface roughness equal and below to $Ra = 0,6 \mu m$ ($Ra \leq 0,6 \mu m$). Dimensions and the average surface roughness of workpieces were measured and wear forms and cutting tools life were analysed. The obtained results led to conclude that, in several cases, its is possible to replace the grinding process to the turning and to obtain a life quite long of PCBN tools and mixed ceramics, for an industrial application.*

Keywords. *Hard turning, Machining, Ceramic tools, CBN tools.*