

## A UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS CERÂMICAS E PCBN NO TORNEAMENTO DE PEÇAS ENDURECIDAS

**Cláudio Henrique Dias de Almeida**

**Alexandre Mendes Abrão**

Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Mecânica, 31270-901, Belo Horizonte - MG, Brasil. [claudio@demec.ufmg.br](mailto:claudio@demec.ufmg.br)

**Resumo.** Este trabalho tem como objetivo investigar a utilização de ferramentas a base de nitreto cúbico de boro policristalino (PCBN) e cerâmica mista ( $Al_2O_3 + TiC$ ) no torneamento do aço ABNT 5115 temperado e revenido, com dureza entre 58 e 66 HRC. Deste modo foram utilizadas 5 classes cerâmicas e 1 classe de PCBN, mantendo o avanço e a profundidade de usinagem constantes e variando a velocidade de corte para as 3 melhores ferramentas no intuito de se determinar a melhor ferramenta de corte. Durante os testes foram medidos o desgaste de flanco das ferramentas de corte e a rugosidade média aritmética dos corpos de prova. Os resultados mostraram que as ferramentas com melhor desempenho foram A65 e A66N (cerâmicas) e BNX20 (PCBN).

**Palavras-chave:** Aços endurecidos, Ferramentas cerâmicas, Ferramentas de PCBN.

### 1. INTRODUÇÃO

Nos anos 70, com o advento das ferramentas de corte de PCBN tornou-se possível a usinagem por cisalhamento (torneamento, fresamento, furação, etc.) de materiais com dureza superior a 45 HRC, sendo que anteriormente estes só podiam ser usinados através de operações de retificação (Broskea,1988). Isto proporcionou uma alteração bastante considerável no ciclo de produção de peças endurecidas, pois os componentes que antes eram usinados no estado recozido com um certo sobremetal, tratados termicamente para atingir a dureza e resistência necessárias e finalmente retificados até a forma e dimensões finais passaram então a sofrer tratamento térmico e ser usinados utilizando tais ferramentas, eliminando assim a operação de usinagem no estado recozido e a retificação final. Isto ocasionou uma redução nos custos efetivos de produção, aumento nos lotes de fabricação e uma qualidade final das peças usinadas similar à obtida através da retificação. Entretanto, deve-se ressaltar que a escolha da ferramenta mais adequada, seja ela PCBN ou cerâmica, também exige que sejam levados em conta alguns pré-requisitos como: uso de um sistema extremamente rígido e de uma máquina operatriz de alta precisão, material da ferramenta de elevada dureza ( $>1800$  HV) e resistência ( $k_{1c} > 6$  MPa.m<sup>1/2</sup>); ângulo de inclinação negativo, cunha de corte robusta ( $\beta=90^\circ$ ), porta-ferramenta extremamente rígido, aresta de corte chanfrada e condições de corte apropriadas (König et al.,1984). Além disso, é preciso considerar que o custo por aresta de PCBN pode ultrapassar em 10 vezes o da cerâmica mista.

Conforme estudos já realizados, sabe-se que a usinagem com ferramentas cerâmicas e de

PCBN promovem alterações bastante positivas no que diz respeito à integridade superficial do componente usinado (tensões residuais compressivas e superior resistência à fadiga). Por outro lado, é inegável que a retificação é capaz de garantir tolerâncias dimensionais e geométricas bem mais estreitas. Isto é observado quando se necessita de uma baixa profundidade de corte, onde no torneamento torna-se inviável a usinagem devido às elevadas deformações plásticas impostas ao conjunto ferramenta-peça. Além disso, às elevadas forças de corte impedem a obtenção de tolerâncias mais estreitas.

Neste trabalho utilizou-se a alumina mista dentre as ferramentas cerâmicas, devido à sua dureza a quente e estabilidade química, necessárias à operação de torneamento em acabamento de aços endurecidos (Matsumoto,1998). Sendo que a sua elevada dureza a quente e condutividade térmica devem-se a adição do carboneto de titânio (TiC), conforme citado por Baldoni (1988). Isto possibilitou uma maior resistência ao desgaste de flanco (Brandt,1986). Porém com a adição de Ti (N,C), houve um aumento do desgaste de cratera devido a alta solubilidade dos carbonetos no cavaco, contrabalançado pelo aumento da resistência ao choque térmico e mecânico.

As ferramentas de PCBN possuem larga faixa de aplicação na indústria, onde suas principais características são a alta dureza e resistência a abrasão (Wick,1988). Desta forma, quanto maior for a concentração de CBN, maior será a dureza, tenacidade e condutividade térmica do material em virtude da ligação entre os cristais. Para as operações de acabamento faz-se necessário uma menor porcentagem de CBN e maior porcentagem de cerâmica o que possibilita a redução da condutividade térmica, provocando o represamento do calor e conseqüente redução de dureza da peça na região de cisalhamento (Bossom,1991).

Diante do exposto fica evidente que a substituição da retificação pelo torneamento não é uma tarefa simples e que vários parâmetros devem ser observados. Assim, o objetivo deste trabalho é de prestar uma contribuição na escolha destas ferramentas, avaliando o desgaste de flanco dos insertos utilizados e a rugosidade dos corpos de prova usinados.

## 2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os testes experimentais foram realizados em um torno equipado com comando numérico computadorizado, potência de 5,5 kW e rotação máxima de 3500 rpm. Os corpos de prova de aço ABNT 5115, com as dimensões iniciais de 200 x  $\phi$  78,10 mm, sofreram tratamento térmico de carbonitreção, resultando em uma dureza superficial de 66 HRC. Os testes de usinagem foram executados até uma dureza de 58 HRC com profundidade média de 1 mm. Utilizou-se três classes cerâmicas de alumina mista com geometria VNGA 160408 T02020 dos seguintes fabricantes: NTK (HC2), Sumitomo (NB90S) e Kennametal (K090). Também foram empregadas duas classes cerâmicas da Kyocera com geometria VNGA 160408 T082025, sendo uma com revestimento de TiN (A66N) e outra sem revestimento (A65). Por fim utilizou-se uma classe de PCBN da Sumitomo (BNX20) com geometria VNMA 160404 T01525. O suporte porta-ferramentas adotado detinha o código MVJNR 2525 M16, garantindo a seguinte geometria: ângulo de posição principal  $\chi_r = 93^\circ$ , ângulo de inclinação  $\lambda_s = -5^\circ$ , ângulo de saída  $\gamma_n = -9^\circ$  e ângulo de ponta da ferramenta  $\epsilon_r = 35^\circ$ . Os raios de ponta das ferramentas foram  $r_e = 0,4$  e  $0,8$  mm para os insertos de PCBN e cerâmica, respectivamente.

Após cada passada da ferramenta de corte eram medidos o desgaste de flanco ( $VB_C$ ), através de um microscópio equipado com micrômetros de resolução milesimal, e a rugosidade média aritmética ( $R_a$ ) dos corpos de prova com um rugosímetro portátil ajustado para um *cut-off* de 0,8 mm. O critério de fim de vida adotado foi para  $VB_C = 0,30$  mm. Caso esse critério não fosse alcançado após trinta minutos de usinagem, o teste era encerrado.

No início dos testes os parâmetros de corte adotados para todas as ferramentas foram os

seguintes: velocidade de corte  $v_c = 180$  m/min, avanço  $f = 0,08$  mm/rot e profundidade de corte  $a_p = 0,15$  mm. Após definidas as ferramentas que apresentaram melhor desempenho, variou-se a velocidade de corte para  $v_c = 220$  e  $250$  m/min.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Fig. 1 mostra a variação de microdureza com a profundidade do tratamento térmico para os corpos de prova, indicando uma dureza superficial de 66 HRC e dureza média de 58 HRC a uma profundidade de aproximadamente 1 mm.

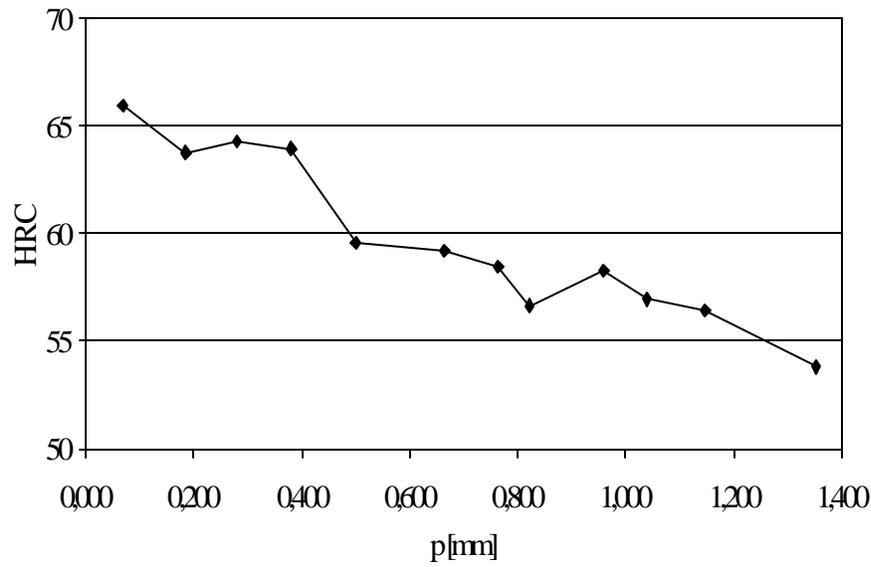


Figura 1 - Variação de microdureza nos corpos de prova (aço ABNT 5115).

Os resultados das medições de desgaste de flanco e rugosidade superficial em função do tempo de corte e variação de rugosidade superficial para  $v_c = 180$  m/min,  $f = 0,08$  mm/rot e  $a_p = 0,15$  mm são mostrados nas Figs. 2 e 3, respectivamente.

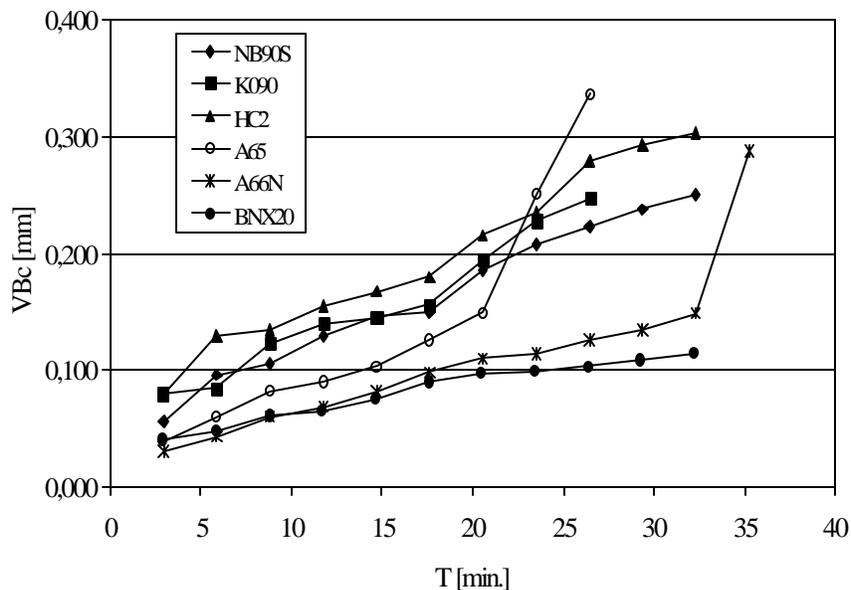


Figura 2 - Curvas de desgaste para  $v_c=180$  m/min,  $f=0,08$  mm/rot e  $a_p=0,15$  mm.

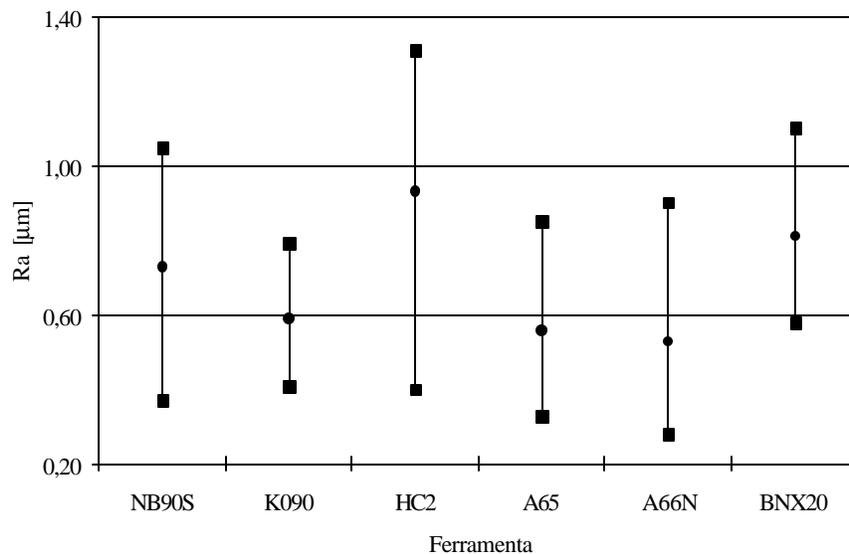


Figura 3 - Faixa de rugosidade superficial média dos corpos de prova para  $v_c=180$  m/min,  $f=0,08$  mm/rot e  $a_p=0,15$  mm.

Analisando a Fig. 2 observa-se que para a velocidade de corte  $v_c = 180$  m/min os insertos BNX20, A66N e A65 apresentaram os menores desgastes de flanco em função do tempo. Inicialmente a ferramenta A66N comportou-se de maneira similar à BNX20, mas após um tempo de corte de aproximadamente 12 minutos aquela veio a sofrer um maior desgaste. Já a ferramenta A65 sofreu aumento na taxa de desgaste após 20 minutos. As demais ferramentas apresentaram desgaste mais acentuado. Quanto à Fig. 3, verifica-se que as peças com menor rugosidade foram as usinadas com as ferramentas K090, A65 e A66N, respectivamente. Por apresentar um raio de ponta menor que as ferramentas cerâmicas, a ferramenta BNX20 produziu uma faixa de rugosidade média ligeiramente superior.

A Fig. 4 apresenta as curvas de vida e as Figs. 5 e 6 as curvas de rugosidade para as ferramentas A65 e A66N, resultantes do aumento da velocidade de corte para 220 e 250 m/min, mantendo-se constantes o avanço  $f = 0,08$  mm/rot e a profundidade de corte  $a_p = 0,15$  mm.

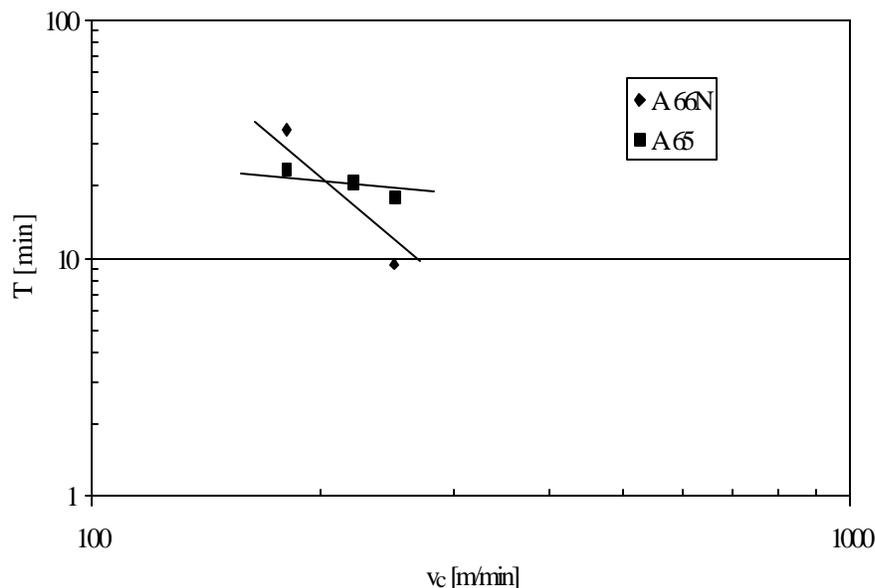


Figura 4 - Curvas de vida para as ferramentas A65 e A66N.

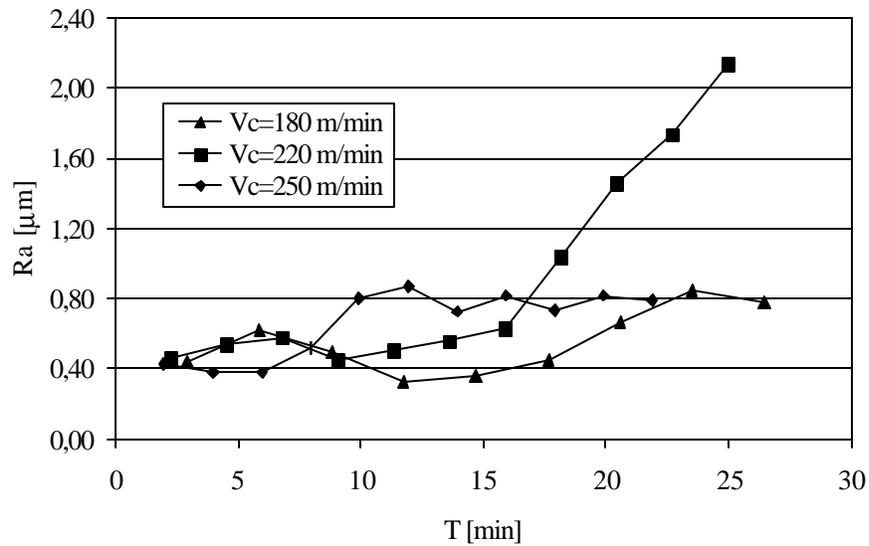


Figura 5 - Rugosidade superficial média em função do tempo para  $v_c=180, 220$  e  $250$  m/min,  $f=0,08$  mm/rot e  $a_p=0,15$  mm para a ferramenta A 65.

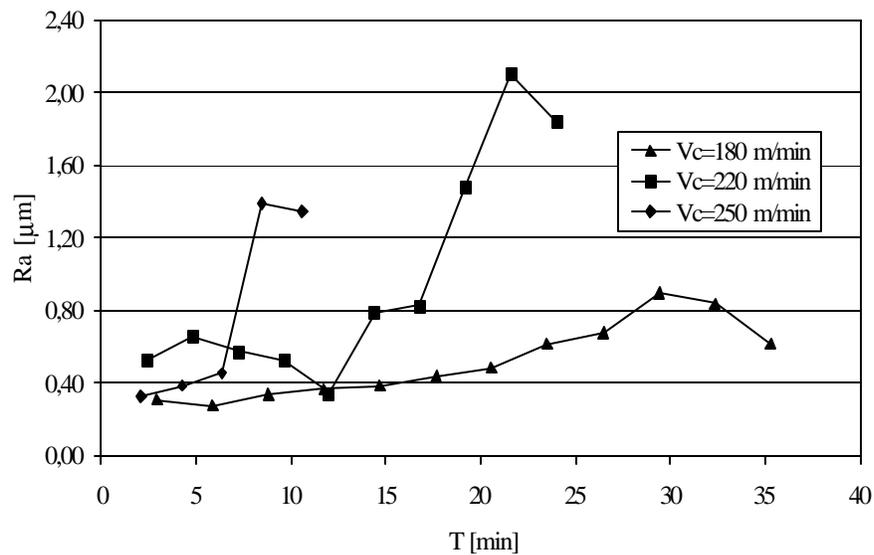


Figura 6 - Rugosidade superficial média em função do tempo para  $v_c=180, 220$  e  $250$  m/min,  $f=0,08$  mm/rot e  $a_p=0,15$  mm para a ferramenta A66N.

Para a montagem das curvas de vida (Fig. 4) foi aplicado um critério de  $VB_C = 0,25$  mm, pois sob algumas condições de corte o  $VB_C = 0,30$  mm não foi atingido após 30 minutos. Em virtude da baixa taxa de desgaste apresentada pela ferramenta PCBN, o resultado para  $v_c = 180$  e  $250$  m/min são mostrados a parte (Fig. 7). Pelo mesmo motivo não foi testada  $v_c = 220$  m/min.

A Fig. 4 mostra que a ferramenta A65 apresenta comportamento superior à A66N, à medida em que a velocidade de corte foi elevada. Já as Figs. 5 e 6 apresentam valores de rugosidade crescentes com o tempo de usinagem para as duas ferramentas. No caso de

$v_c = 220$  m/min obteve-se valores mais elevados de  $R_a$ , devido ao lascamento da ferramenta aos 16 minutos.

Para a ferramenta A66N observou-se uma diminuição acentuada no tempo de vida (Fig. 4) com o aumento da velocidade de corte, provocando assim um elevado desgaste de flanco. Essa tendência se refletiu na rugosidade dos corpos de prova usinados com esta ferramenta (Fig. 6). Neste caso, a vibração do sistema com o aumento da velocidade de corte e o tipo de revestimento empregado (TiN) ou a técnica usada na deposição podem ter provocado uma maior influência no desgaste da aresta de corte deste inserto.

Quanto à ferramenta BNX20, nota-se na Fig. 7 que a taxa de desgaste é bem inferior às cerâmicas. A rugosidade superficial média apresentou valores ligeiramente superiores à cerâmica devido ao menor raio de ponta empregado (Fig. 8). Não obstante, a dispersão obtida com a ferramenta BNX20 foi inferior às cerâmicas.

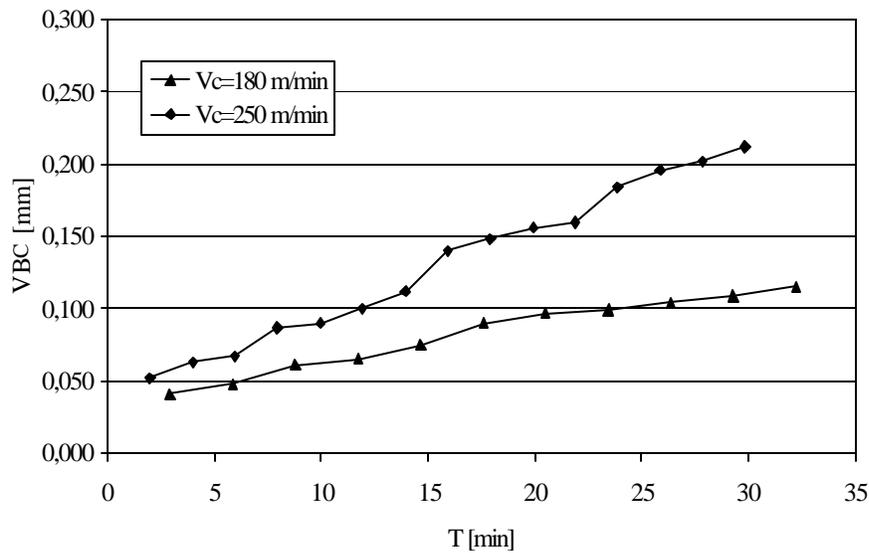


Figura 7 - Curvas de desgaste para  $v_c=180$  e  $250$  m/min,  $f=0,08$  mm/rot e  $a_p=0,15$  mm para a ferramenta BNX 20.

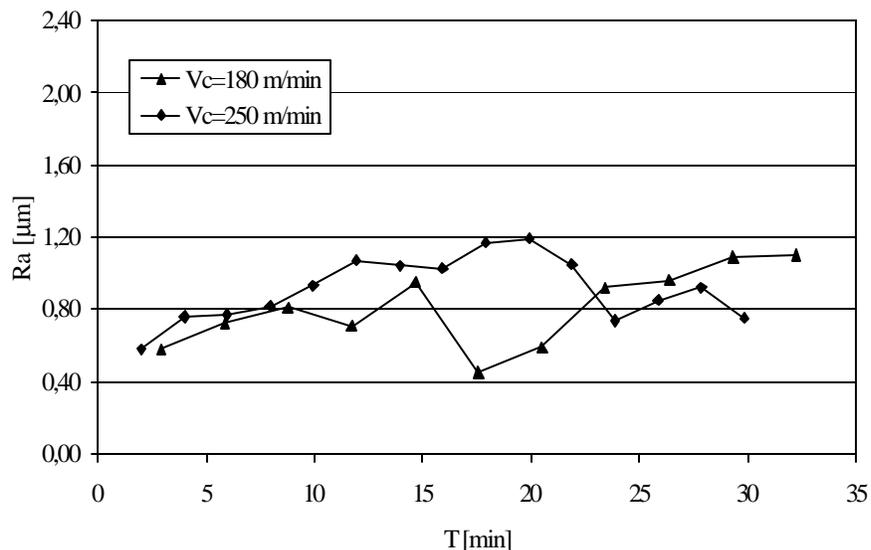


Figura 8 - Rugosidade superficial média em função do tempo para  $v_c=180$  e  $250$  m/min,  $f=0,08$  mm/rot e  $a_p=0,15$  mm para a ferramenta BNX 20.

## 4. CONCLUSÕES

As conclusões retiradas deste trabalho são as seguintes:

- Para as velocidades de corte acima de  $v_c = 180$  m/min. a ferramenta A65 obteve o melhor comportamento entre as ferramentas cerâmicas, sendo pequena a inclinação em sua curva de vida;
- Para a velocidade de corte de  $v_c = 180$  m/min. a melhor ferramenta cerâmica foi a A66N;
- As ferramentas cerâmicas A65 e A66N apresentaram maior desgaste de flanco que a ferramenta BNX20, sendo que para as velocidades de corte acima de  $v_c = 180$  m/min o lascamento da aresta de corte do inserto A66N mostrou-se mais expressiva;
- A rugosidade média superficial segue a tendência crescente com o aumento do desgaste de flanco para as melhores ferramentas testadas, variando de 0,33 a 0,85  $\mu\text{m}$  para a A65, de 0,28 a 0,90  $\mu\text{m}$  para a A66N e de 0,58 a 1,10  $\mu\text{m}$  para a BNX20, esta última apresentando menor dispersão. Assim as rugosidades obtidas nos corpos de prova mostraram valores compatíveis com o processo de retificação.

### *Agradecimentos*

Os autores agradecem à FIAT Automóveis S/A, na pessoa do Eng. Antônio Maria S. Júnior pelo suporte técnico e financeiro para a realização deste projeto, e também ao Eng. Willian de Melo pelo apoio técnico.

## REFERÊNCIAS

- Baldoni, J.G. and Buljan, S.T., 1988, Ceramics for machining, Ceramic Bulletin, v.67, n.º 2, pp.381-387.
- Bossom, P.K., 1991, The selection of high and low CBN cutting tool materials for automotive applications, SME, Superabrasives'91, Chicago, IL, USA, pp.1139-1160
- Brandt, G., 1986, Flank and crater wear mechanisms of alumina-based cutting tools when machining steel, Wear, 112, pp.39-56.
- Broskea, T.J., 1988, Milling of ferrous materials with polycrystalline cubic boron nitride , SME, Milling Technology and Applications Seminar, Detroit, MI, USA.
- König, W. et al., 1984, Machining of hard materials, Annals of the CIRP, v.33/2, pp.417-427
- Matsumoto, H., 1998, Uma contribuição ao estudo do processo de torneamento de aços endurecidos, Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP, 148p., Tese de doutorado.
- Wick, C., 1988, Machining with PCBN tools, Manufacturing Engineering, july, pp.73-78.

### **THE UTILIZATION OF CERAMICS AND PCBN CUTTING TOOLS WHEN TURNING HARDENED STEELS**

**Abstract.** *This work aims to investigate the utilization of polycrystalline cubic boron nitride (PCBN) and mixed alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$ ) cutting tools when turning hardened steel, with a hardness between 58 and 66 HRC. Five ceramics grades and one of PCBN were employed. Three in high speeds ( $v_c = 180 - 220 - 250$  m/min) were tested for a feed rate of  $f = 0,08$  mm/rev and a depth of cut of  $a_p = 0,15$  mm. The performance of the cutting tools was established in terms of flank wear ( $VB_C$ ) and surface roughness ( $R_a$ ). Best results were given by A65 and A66N ceramics and BNX20 (PCBN).*

**Keywords:** *Hardened steels, Ceramic tools, PCBN tools.*