

TORNEAMENTO DE AÇOS ENDURECIDOS UTILIZANDO FERRAMENTAS CERÂMICAS

Hidekasu Matsumoto

Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Departamento de Engenharia Mecânica, 15.385-000, Ilha Solteira, SP, Brasil. E-mail: hidekasu@dem.feis.unesp.br

Anselmo Eduardo Diniz

Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Faculdade de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia de Fabricação, Campinas, SP, Brasil. E-mail: anselmo@fem.unicamp.br

Resumo

Torneou-se o aço ABNT 52100 temperado e revenido com dureza média de 60 HRC com o objetivo de verificar a possibilidade de obter peças com qualidade dimensional e superficial compatível com o processo de retificação. Para tanto, utilizou-se ferramentas de cerâmica mista ($Al_2O_3 + TiC$) de geometria triangular com furo para fixação e quadrada sem furo e um torno CNC convencional de 22kW de potência, já com algum desgaste devido à utilização. Mediu-se as dimensões e a rugosidade média das peças, utilizando como critério de vida a rugosidade média ($Ra \leq 0,6 \mu m$). Analisou-se também a forma de desgaste e a vida das ferramentas de corte. Os resultados obtidos levam a concluir que com o torneamento de aços endurecidos é possível obter qualidade dimensional e geométrica compatível com as operações de retificação normais e com vidas das ferramentas de corte satisfatórias.

Palavras-chave: Torneamento de Aços Endurecidos, Usinagem, Ferramentas Cerâmicas.

1. INTRODUÇÃO

O torneamento de aços endurecidos já vem sendo utilizado industrialmente para substituir alguns casos de retificação. Inúmeras são as vantagens da operação de torneamento em relação à retificação, dentre as quais pode-se citar a maior produtividade, possibilidade de eliminar etapas de fabricação, máquinas-ferramenta mais simples e de menor custo, flexibilização do processo, menor custo das ferramentas de corte, etc. (Tönshoff *et al.*, 1995). Apesar destas evidentes vantagens, as aplicações industriais têm sido pequenas se comparadas com as possibilidades de aplicações. Segundo alguns autores (König *et al.*, 1993; Klocke *et al.*, 1995; Abrão e Aspinwall, 1996), os motivos que impedem a maior utilização do processo de torneamento é a necessidade de se analisar individualmente cada aplicação, levando em consideração o tipo e a condição da

peça, requisitos de projeto do componente, os equipamentos disponíveis e suas condições, os custos do ferramental e mão de obra e o tamanho do lote de peças.

O torneamento de aços endurecidos exige alguns requisitos especiais, principalmente ferramentas de corte e máquinas-ferramenta que atinjam altas rotações com grande exatidão e rigidez. Segundo Klocke *et al.*, (1995), qualidades IT6 e IT7 e rugosidade Ra de 0,2 a 0,3 μm são possíveis de serem obtidas na produção industrial em tornos de grande exatidão comandados numericamente. Estas qualidades correspondem a qualidades necessárias à grande parte das peças utilizadas na indústria automobilística. Ainda segundo o mesmo autor, pesquisas mais recentes mostram que com a utilização de tornos de grande exatidão (alta rigidez e com mancais hidrostáticos), geometria da ferramenta especial e parâmetros de corte otimizados, é possível a obtenção de peças com qualidade como as obtidas na retificação fina (IT3 até IT5 e $Ra < 0,1\mu\text{m}$) e com ausência de camada superficial danificada.

Quanto às ferramentas de corte, para se obter qualidade e produtividade, faz-se necessário a utilização de ferramentas de corte confeccionadas com materiais que atendam a alguns requisitos, tais como (König *et al.*, 1984): alta dureza à temperatura ambiente e a 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 a reações químicas. Os materiais tradicionalmente utilizados, como o aço rápido e o metal duro não atendem à grande parte dos requisitos, principalmente em relação à dureza. O diamante policristalino atende à maioria dos requisitos, porém é altamente reativo com o ferro em temperaturas superiores a 800°C , o que provoca uma deterioração prematura da ferramenta. Assim, restam as ferramentas de materiais cerâmicos e os de nitreto de boro cúbico (CBN). A seguir, serão feitas algumas considerações sobre as ferramentas cerâmicas.

Os insertos de materiais cerâmicos têm boa dureza à quente e a frio, alta resistência à abrasão e excelente estabilidade química (evita a difusão, o que é muito importante quando se usina em altas velocidades e temperaturas). Porém, a baixa tenacidade os torna altamente frágil, o que limita a sua aplicação a operações pouco severas. De uma maneira geral, os materiais cerâmicos estão divididos em dois grandes grupos (essa divisão é feita em função do material empregado como matriz): - alumina (Al_2O_3) ou nitreto de silício (Si_3N_4), que por sua vez também são subdivididos. Os materiais desses subgrupos diferem entre si, pela composição química, pelo processo de fabricação e propriedades (Brinksmeier e Bartsch, 1988). Dentre as ferramentas cerâmicas, a mais indicada pelos pesquisadores (Gruss, 1998) e fabricantes de ferramentas de corte (Sandvik, 1996), para a usinagem de aços endurecidos, são as ferramentas de cerâmica mista. 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 às outras ferramentas a base de alumina. Em função disso, optou-se por utilizar as ferramentas de cerâmica mista neste trabalho.

No torneamento de aços endurecidos, a máquina-ferramenta tem grande influência, pois a falta de rigidez causa erros dimensionais e geométricos na peça, além de avarias nas ferramentas de corte. Neste trabalho, procurou-se verificar a possibilidade de obter uma qualidade de usinagem compatível com a retificação em termos de acabamento dimensional e superficial, além de analisar a vida e o desgaste das ferramentas de cerâmica mista ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$), utilizando tornos CNC convencionais e já com algum tempo de utilização, uma vez que esta é a situação da 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 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 $\lambda_s = -6^\circ$, e ferramentas de $Al_2O_3 + TiC$ (CC650 da Sandvik) de geometria quadrada sem furo para fixação (SNGN 12 04 08 T01020), raio de ponta de 0,8 mm, chanfro de 0,1 mm x 20°, ângulo de posição $\chi_r = 75^\circ$ e ângulo de saída $\gamma_n = -6^\circ$.

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 60 mm por 60 mm de comprimento e sem furo de centro. Todas os corpos de prova foram pré-usinados com tolerância h8.

Os valores da rugosidade foram medidos com um rugosímetro Mitutoyo SurfTest 201, ajustado para um “cut-off” de 0,8 mm.

Todos os ensaios foram realizados com avanço $f = 0,08$ mm/volta, profundidade de usinagem $a_p = 0,4$ mm e foram repetidos pelo menos três vezes. As velocidades de corte utilizadas foram 108 e 130 m/min para ferramenta triangular e 130 m/min para ferramenta quadrada.

O critério de vida adotado foi o da rugosidade média, sendo o ensaio interrompido quando se atingia $R_a = 0,6$ μm . Segundo Agostinho et al. (1977) este valor é típico de uma operação de retificação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Analisou-se o diâmetro e o acabamento superficial das peças usinadas em função do comprimento das peças, do material da ferramenta e da velocidade de corte. Procurou-se manter as dimensões dentro da tolerância h5 (0 e -13 μm para diâmetros de 50 a 80 mm) e a rugosidade média abaixo de 0,6 μm (R_a). Foram utilizadas ferramentas cerâmicas triangulares com furo para fixação e quadradas sem furo para fixação. As ferramentas quadradas foram utilizadas nestes ensaios, porque as triangulares lascaram e quebraram diversas vezes durante a realização dos ensaios. A utilização de ferramentas quadradas foi uma tentativa de minimizar a ocorrência destes lascamentos através do aumento do ângulo de ponta e da robustez da ferramenta e consequente aumento da resistência da ponta. Com isso, em tese, diminuiu-se o ângulo de posição da ferramenta ($\chi_r = 90^\circ$ na ferramenta triangular e 75° na quadrada) e, conseqüentemente, teve-se um aumento da força passiva, o que deveria prejudicar a obtenção de bons acabamentos superficiais e tolerâncias apertadas, devido à deflexão da peça. Porém, devido à alta rigidez da peça, o aumento da força passiva não prejudicou a qualidade da peça usinada.

A figura 1 mostra a variação do diâmetro medido no meio da peça, quando se usinou corpos de prova sem a utilização de contraponto. Pode-se observar que a partir do momento em que se conseguiu corrigir a dimensão (devido ao erro inicial de zeramento da ferramenta), a variação do diâmetro foi muito pequena, conseguindo-se manter a tolerância dentro da qualidade IT5 (13 μm).

Tanto para a ferramenta cerâmica triangular como para a ferramenta cerâmica quadrada, houve um pequeno aumento do diâmetro da peça no final da vida da ferramenta. Os lascamentos ocorridos nas arestas de corte, não causaram variações bruscas nos diâmetros das peças usinadas.

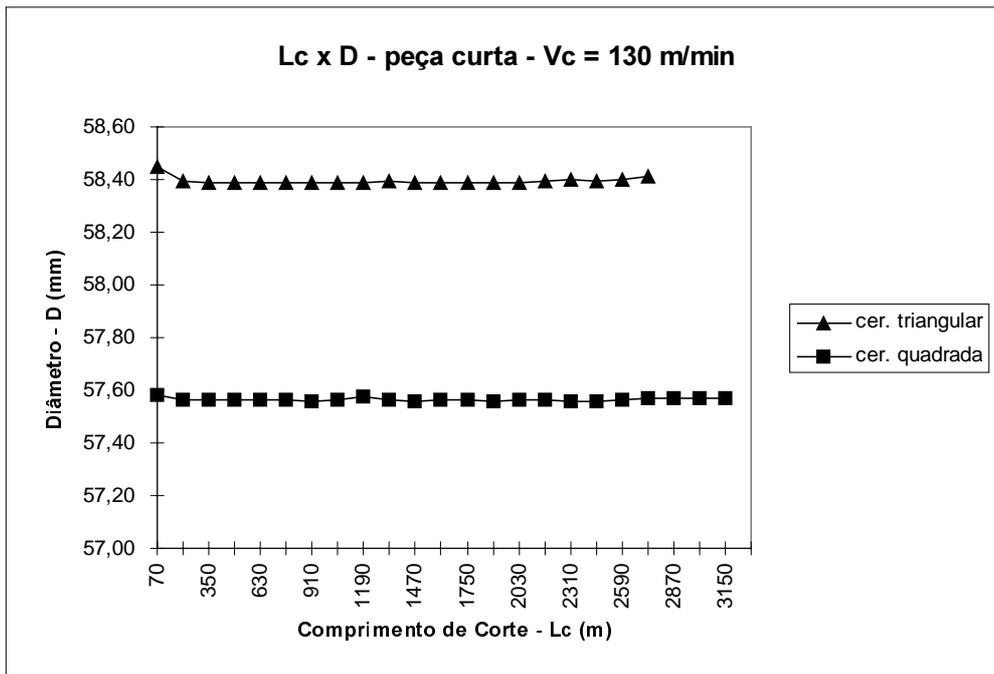


Figura 1. Variação do Diâmetro da Peça com o Comprimento de Corte $v_c = 130$ m/min para Ambas as Ferramentas.

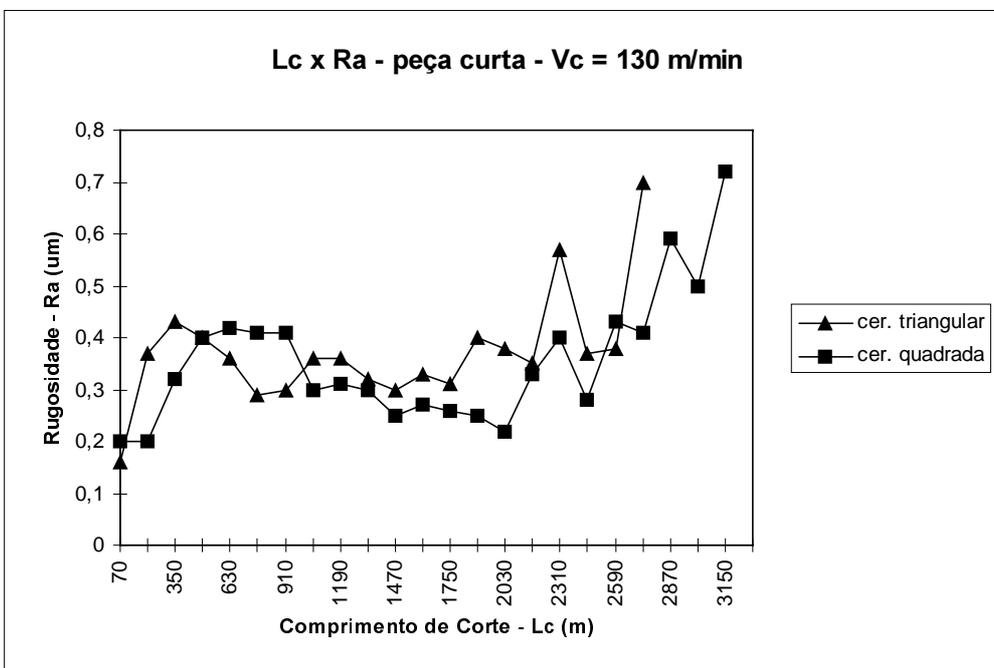


Figura 2. Variação da Rugosidade com o Comprimento de Corte $v_c = 130$ m/min para Ambas as Ferramentas.

A figura 2 mostra a variação da rugosidade ao longo do comprimento de corte (l_c), tanto para a ferramenta quadrada, quanto para a triangular. Nesta figura pode-se observar que a rugosidade ficou instável, variando aleatoriamente, mas em torno de valores típicos de operações de retificação. A ferramenta cerâmica quadrada que é mais resistente à quebra da pastilha, teve o mesmo comportamento de desgaste verificado na ferramenta cerâmica triangular. Ou seja, a partir de um certo nível de desgaste, a ponta da ferramenta começou a se lascas e a se acomodar, tomando formas que possibilitaram a continuidade da usinagem, mantendo ou até mesmo reduzindo a rugosidade. Atingido um determinado volume de lascamento da aresta, ela se deteriorou completamente e precisou ser substituída (fim da vida), já que neste ponto a rugosidade não foi mais aceitável devido ao risco de quebra total da pastilha, o que traria consequências bastante indesejáveis.

Pode-se concluir que o processo de torneamento consegue obter qualidade dimensional e superficial equivalente ao processo de retificação, em peças de aço endurecido, mesmo com a máquina utilizada, que é um torno com projeto mecânico convencional (sem guias lineares ou hidrostáticas e sem mancais hidrostáticos) de mais de 10 anos de idade.

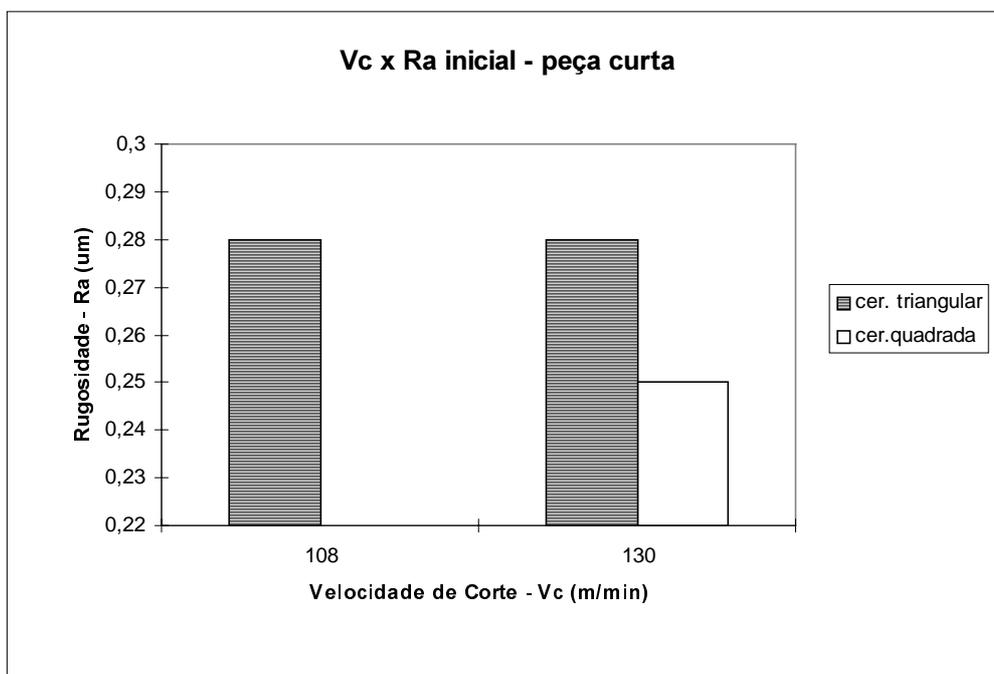


Figura 3. Rugosidade Inicial para as Velocidades de Corte de 108 e 130 m/min.

A figura 3 mostra a rugosidade obtida no início da vida de cada ferramenta, ou seja, na usinagem da primeira peça, para diferentes velocidades de corte, com o objetivo de verificar uma possível influência da velocidade de corte na rugosidade. Observou-se que não houve influência significativa quando se passou de $v_c = 108$ m/min para $v_c = 130$ m/min, com ferramenta cerâmica triangular. A mudança do ângulo de posição da ferramenta de $\chi_r = 90^\circ$ para ferramenta triangular para 75° da ferramenta quadrada também não teve influência substancial no valor da rugosidade. Pode-se ver na figura que a rugosidade caiu cerca de 10% quando se passou da ferramenta triangular para a quadrada, o que, em termos de rugosidade que normalmente apresenta grande dispersão dentro de uma mesma peça, não representa uma variação significativa. Com isto,

conclui-se que o suposto aumento da força de profundidade devido à diminuição do ângulo de posição, não incentivou o aumento da vibração do sistema (devido à alta rigidez da peça) e, com isso, não influenciou a rugosidade da peça usinada.

Em relação às formas de desgaste das ferramentas, tanto nas triangulares como nas quadradas, ocorreram inicialmente desgastes de flanco, porém logo os lascamentos se tornaram predominantes. Ou seja, a partir de um certo nível de desgaste, a ponta da ferramenta começou a se lascor e a se acomodar, tomando formas que possibilitavam a continuidade da usinagem, mantendo ou até mesmo reduzindo a rugosidade. Atingido um determinado volume de lascamento da aresta, esta se deteriorava completamente, necessitando ser substituída (fim da vida), uma vez que neste ponto a rugosidade já não era mais aceitável e com risco de quebra total da pastilha.

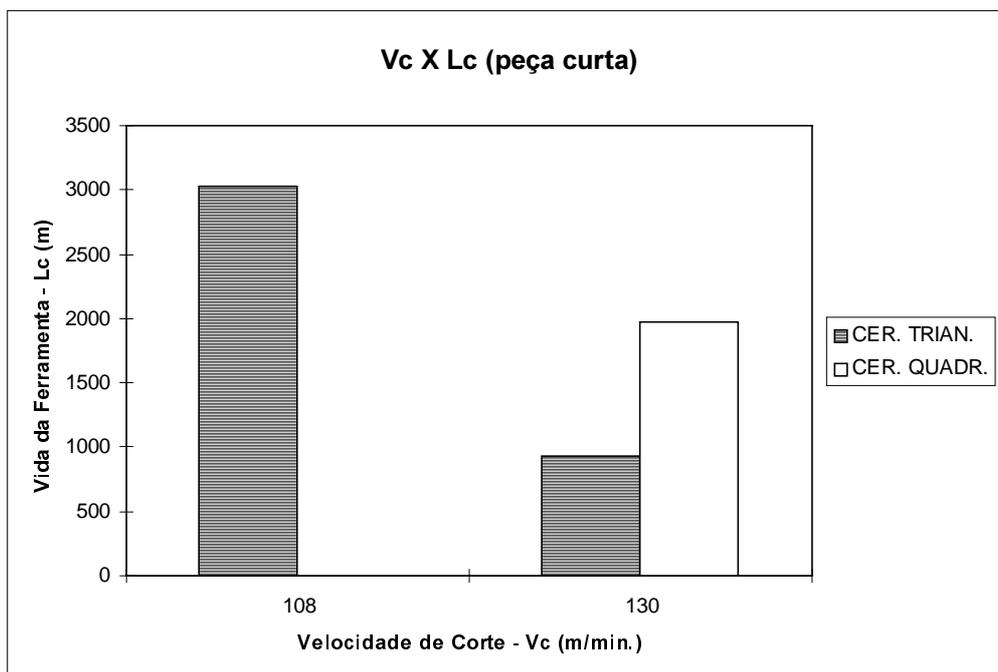


Figura 4. Média de Vida das Ferramentas de Corte em Comprimento de Corte (Lc) para as Velocidades de Corte de 108 e 130 m/min.

Quanto à vida das ferramentas de corte, pode-se observar na figura 4 que as ferramentas cerâmicas com geometria quadrada apresentaram um desempenho melhor do que as triangulares, pois, por não terem o furo para a fixação e por apresentarem ângulo de ponta maior, não apresentaram o problema da quebra da pastilha (que era comum nas ferramentas triangulares) e, sim, lascamentos da aresta de corte. Explicando isto melhor, devido à menor rigidez, nas ferramentas triangulares, os lascamentos eram maiores e mais frequentes, o que normalmente conduzia à quebra da aresta de corte, muitas vezes antes do término do ensaio. Já com as pastilhas quadradas, os lascamentos, apesar de também acontecerem, eram menores e não conduziam à total destruição da aresta de corte. O menor ângulo de posição da ferramenta quadrada, que teoricamente teria aumentado a força passiva e, conseqüentemente a vibração da peça, não foi preponderante devido aos fatores explicados anteriormente. Para ambas as

ferramentas, a dispersão das vidas foi muito grande, pois dependendo do grau e da forma de lascamento, atingia-se vidas variando de 3010 metros a 630 metros.

O crescimento da velocidade de corte provocou um forte decréscimo na vida da ferramenta triangular. Isto mostra que a diminuição da resistência da peça causado pelo aumento da sua temperatura e que facilitaria a formação do cavaco (Bossom, 1991), não foi predominante em relação ao fenômeno causador do lascamento e quebra da ferramenta. Este fenômeno deve estar relacionado com o aumento de vibração do sistema causado pelo crescimento da velocidade, já que o fim das vidas das ferramentas aconteceram por lascamento e/ou quebra das arestas e não por desgaste.

Apesar da comparação entre as ferramentas quadradas e triangulares somente ter sido realizada para $v_c = 130$ m/min, pode-se afirmar que a ferramenta quadrada sem furo de fixação, comporta-se melhor que a triangular no que diz respeito à vida, devido à sua maior resistência à quebra.

4. CONCLUSÕES

- O ângulo de posição da ferramenta e a velocidade de corte não tiveram influência nos valores de Ra.
- O torneamento consegue substituir a retificação em operações de acabamento de peças endurecidas, no que diz respeito ao acabamento superficial e à qualidade dimensional geralmente utilizadas nas indústrias, mesmo quando a máquina utilizada tem projeto mecânico convencional.
- As ferramentas quadradas e sem furo são mais recomendadas, pois são mais robustas, e conseqüentemente menos suscetíveis à quebra. Porém com a evolução do tempo de corte, continuaram, mesmo nestas ferramentas, os problemas de lascamento da aresta de corte.
- A dispersão das vidas das ferramentas cerâmicas são muito grandes, o que dificulta a sua aplicação industrial.
- Para as ferramentas cerâmicas utilizadas nas condições deste trabalho, a velocidade de corte $v_c = 108$ 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.

5. REFERÊNCIAS

- Agostinho, O. L.; Rodrigues, A. C. S. e Lirani, J., 1977, "Tolerâncias, Ajustes, Desvios e Análise de Dimensões", Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo, Brasil.
- Abrão, A. M.; ASPINWALL, D. K., 1996, "The surface integrity of turned and ground hardened bearing steel", *Wear*, v. 196, p. 279 - 284.
- Bossom, 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.
- Gruss, W. W., 1988, “Ceramic tools improve cutting performance”. *American Ceramic Society Bulletin*, 67 (6), p. 993 - 996.
- 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.; 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.
- Sandvik Coromant, 1994, “Ferramentas de Tornear”. *Catálogo Técnico do Fabricante*.
- 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.