



OTIMIZAÇÃO DE PROCESSO DE RETIFICAÇÃO UTILIZANDO REBOLOS DE CBN

Aloísio J. Schuitek

CEFET-PR, Departamento Acadêmico de Mecânica

aloisio@damec.cefetpr.br - Curitiba, PR, Brasil

Antônio C. Severiano

Saint-Gobain Abrasivos Ltda., Departamento Técnico e Comercial – Produtos Winter

severian@uol.com.br - Curitiba, PR, Brasil

Nelson L. Bellos

Robert Bosch Ltda., Planejamento Técnico da Produção - Elementos

nelson.bellos@br.bosch.com - Curitiba, PR, Brasil

Resumo. *A utilização de rebolos com superabrasivos, em particular de Nitreto de Boro Cúbico (CBN) para a retificação de aços temperados, vem ganhando grande aplicação na produção fabril. Condições de durabilidade do grau de afiação e conseqüentemente do rebolo, possibilidades de cortes em cheio, redução substancial dos tempos de preparação e de reajustagem de máquina, redução das alterações metalúrgicas superficiais e ganhos em acabamentos superficiais nas peças são as principais vantagens do uso desses rebolos no processo de retificação. No entanto, a substituição dos rebolos de abrasivos convencionais por superabrasivos, com vistas à otimização o processo, merece um estudo bem aprofundado, pois são muitos os fatores que influenciam no processo de retificação. Dependendo das condições disponíveis, a substituição torna-se inviável técnica e economicamente. No presente trabalho são apresentados os dados e a experiência de sucesso da implantação de rebolos de CBN, com ligante resinóides, para a retificação plana frontal de passagem no arrastador do pistão P de bombas injetoras (material: aço 100 Cr 6 temperado e revenido com 62 HRc). As exigências técnicas, principalmente tolerâncias estreitas de forma geométrica e de posição, a grande sensibilidade do material em apresentar defeitos de origem térmica (microtrincas) e a necessidade do não aparecimento de rebarbas são os aspectos que mais dificultavam a introdução do novo tipo de rebolo.*

Palavras-chave: Retificação, CBN, Superabrasivo

1. INTRODUÇÃO

Até há pouco tempo, a retificação era um dos processos preferidos na usinagem de materiais duros ou endurecidos por tratamento térmico. Conforme Diniz *et al.* (1999), o desenvolvimento de novos materiais para ferramenta e de máquinas tem propiciado também a usinagem desses tipos de peça nas operações de torneamento e fresamento, mas em situações

que não sejam exigidas classes de tolerâncias dimensionais abaixo de IT5. Para essas situações, as operações de retificação ainda detêm certa supremacia, já que também ocorreram fortes desenvolvimentos nessa área. Isso se refere principalmente às novas máquinas retificadoras, com os recursos do CNC, mancais e guias hidrostáticas, motores que possibilitam altíssimas velocidades de corte e também melhorias nos rebolos, como a utilização de superabrasivos, granulometrias extremamente reduzidas e o desenvolvimento de ligantes especiais para essas novas condições.

A retificação com superabrasivos refere-se especificamente à utilização de abrasivos de diamante e de nitreto de boro cúbico (CBN). O uso de rebolos de CBN, principalmente para a retificação de aços temperados, vem ganhando grande aplicação na produção fabril. As principais vantagens encontradas são a alta durabilidade do grau de afiação dos abrasivos, ocasionando redução drástica no número de recondiçõamentos de rebolos e de tempos de preparação, possibilidades de retificação em cheio, redução das alterações superficiais metalúrgicas e, até mesmo, ganhos em acabamentos superficiais.

2. RETIFICAÇÃO COM REBOLOS DE CBN

2.1 Rebolos de CBN

O CBN é um material sintético, obtido através da transformação do nitreto de boro hexagonal, mediante elevadas pressões e temperaturas. Com altíssima dureza ($K_{100} = 4700$), independente da orientação dos cristais, apresenta vantagens na aplicação quando comparado ao diamante, devido à possibilidade de usinagem de ferrosos. Isso porque, apesar da extrema dureza do diamante ($K_{100} = 7000$), o seu emprego na usinagem de aços, principalmente hipoeutéticos, é dificultada pela tendência do carbono do diamante a se difundir no ferro, sob condições de pressão e temperatura usuais de usinagem.

Além disso, comparado ao diamante, o CBN apresenta uma resistência elevada à temperatura. Enquanto que em diamantes a grafitização inicia a partir de $900\text{ }^{\circ}\text{C}$, o nitreto de boro cúbico, à pressão atmosférica, apresenta estabilidade até $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$. Paralelamente a isso, segundo Bertalan (1997), a queda da dureza do diamante com o aumento de temperatura é acentuada a partir de $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ e em $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ ela é inferior à do CBN na mesma temperatura.

Até o surgimento do CBN, a escolha do abrasivo recomendado para retificação de aços endurecidos recaía quase que exclusivamente sobre o coríndon (óxido de alumínio). Comparando-se as características desses rebolos, tem-se nos de coríndon, com ligante vitrificado, velocidades de corte máximas de 60 m/s , enquanto que com CBN e o mesmo ligante já são usadas velocidades de 120 m/s . Em rebolos com abrasivos convencionais, as profundidades de corte utilizadas situam-se na ordem de décimos de milímetro, já com rebolos de CBN são usuais as aplicações de corte em cheio, como na abertura de canais para brocas helicoidais, retirando-se vários milímetros por passe. A possibilidade de aumento nas velocidades de avanço com rebolos de CBN também é uma realidade.

2.2 Desgaste do grão abrasivo de CBN

Pode-se explicar o fato de que os grãos abrasivos de CBN apresentam menores desgastes na retificação do que o coríndon por algumas razões. Segundo Basto (1999), os grãos de CBN por possuírem uma elevada dureza e não apresentarem uma redução tão acentuada dela com o aumento de temperatura, podem trabalhar com os gumes afiados em velocidades de corte mais altas. Nessas velocidades, as espessuras de usinagem são menores e não causam um desgaste tão acentuado, mantendo a capacidade de corte do rebolo e reduzindo o calor causado pelo atrito entre grãos cegos e o material da peça.

Além disso, o desgaste dos grãos de CBN na retificação se dá em grande parte por microlascamentos, gerando um grande número de gumes secundários, que participam efetivamente da formação de cavaco, sem atritar em demasia com a peça (Bertalan, 1997).

Uma outra razão para o menor desgaste é devido ao efeito térmico. A condutibilidade térmica do CBN é dezoito vezes maior que a do coríndon e superior à do ferro, de modo que uma parte do calor gerado pelo processo é transmitida aos grãos (Bertalan, 1997). Como o grão abrasivo na retificação passa uma parte extremamente grande de tempo fora do contato com a peça e pela maior condutibilidade térmica do CBN, é facilitada a ação do fluido de corte e do ar na redução do calor gerado no corte. Isso faz o grão retornar à temperatura ambiente e recuperar a sua capacidade de absorver calor no contato seguinte (Basto, 1999).

Como na retificação com CBN o grau de afiação do abrasivo é mantido por tempos mais longos e a temperatura resultante na peça é muito inferior a da retificação com coríndon para as mesmas condições de corte, a dureza na peça dificilmente se altera e as deformações térmicas são sensivelmente menores, o que reduz a ocorrência de tensões residuais de tração que tendem a provocar trincas.

2.3 Problemas usuais para a introdução de rebolos de CBN

As situações normalmente mais indicadas para aplicação de rebolos de CBN são aquelas onde se necessita obter ganho substancial em produtividade e qualidade, tais como produções seriadas ou ferramentarias de alto desempenho, já que na maioria dos casos, são necessários investimentos iniciais em máquinas e equipamentos, como também do próprio rebolo.

O custo unitário de rebolos de CBN é muito superior ao de rebolos convencionais. Uma unidade volumétrica útil de CBN custa cerca de quinhentas vezes mais do que a mesma quantidade de um abrasivo convencional (Bertalan, 1997). Mesmo se considerando que para um dado volume de material retificado, um rebolo de CBN necessita um volume de abrasivos sensivelmente menor do que com abrasivos convencionais, o custo de uma ferramenta é elevado, obrigando inclusive a se tomar maiores cuidados no manuseio. Além disso, situações onde são necessários rebolos de grandes dimensões apresentarão maiores dificuldades na utilização dos rebolos de CBN, seja pelo alto custo de aquisição ou mesmo pela dificuldade de fabricação do mesmo.

O retorno econômico também é dependente das condições de processo que serão utilizadas. Para aproveitar os menores desgastes dos rebolos de CBN e a possível redução nos tempos principais e de preparação, é necessário se trabalhar com taxas de remoção de material bem superiores às dos rebolos de coríndon. Isso se traduz na utilização de grandes velocidades de corte e de avanço, as quais normalmente não estão disponíveis em máquinas mais antigas. A utilização de velocidades de corte baixas, inclusive, resulta em maiores desgastes do rebolo de CBN.

Algumas retificadoras mais antigas precisam ser adaptadas às utilizações de rebolos com superabrasivos. Por exemplo, a necessidade de melhoria da rigidez da máquina, (já que esses rebolos são muito mais sensíveis a lascamentos), modificações dos sistemas de dressagem e de aplicação de fluido de corte (maiores pressões e colocação de tubeiras radiais).

2.4 Especificação de rebolos de CBN

Recomendações para a especificação de rebolos com superabrasivos encontram-se na Fig. 1, conforme a FEPA (Federação Européia dos Produtores de Abrasivos). As diferenças básicas dessa especificação para a de rebolos com abrasivos convencionais (coríndon e carboneto de silício), encontram-se na inclusão das dimensões da camada abrasiva, no material do corpo base e na concentração do material abrasivo.

Por motivos econômicos, os rebolos de materiais superabrasivos são construídos de forma que apenas a camada mais externa seja constituída de material abrasivo e ligante.

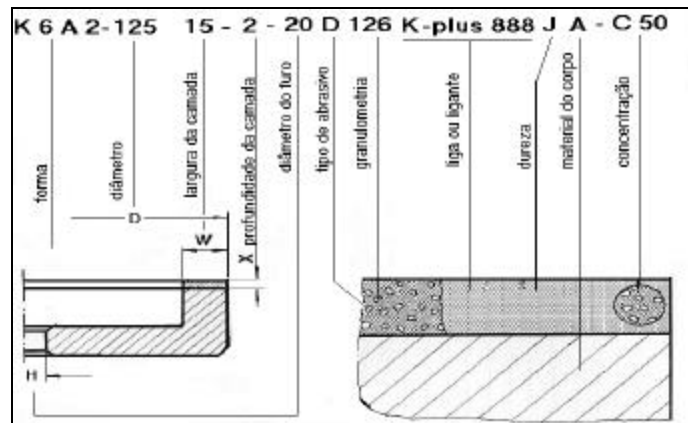


Figura 1 – Especificação de rebolos com superabrasivos conforme FEPA

Dimensões da camada. Uma camada de menor largura propicia um rebole mais agressivo, com menor geração de temperatura, maior facilidade para saída de cavacos e maior facilidade na formação de superfícies planas e manutenção de cantos, entretanto, tende a gerar superfícies mais rugosas.

Material do corpo. A camada abrasiva é fixada sobre um corpo base produzido de diversos materiais (por exemplo alumínio, aço e resinas plásticas), sendo selecionados de acordo com a fabricação, aplicação e os esforços termomecânicos a que será submetido.

Granulometria. As influências da granulometria sobre o processo de retificação utilizando-se superabrasivos são similares aos de abrasivos convencionais. Entretanto, para a classificação de superabrasivos é usada a norma FEPA, onde o tamanho médio de grãos é dado em micrometros e para os abrasivos convencionais conforme a ANSI, dado em “mesh”.

Ligantes. São encontrados normalmente quatro tipos de ligas ou ligantes (Winter, 1997):

- Resinóides: obtidas através da prensagem a quente de resinas, materiais de enchimento e o superabrasivo, podem se deteriorar e perder a capacidade de retenção dos grãos se trabalhar em temperaturas acima de 250 °C. Dentre as ligas, são as menos duras, o que caracteriza um corte “macio e frio”, com forças de corte reduzidas. São as ligas atualmente mais utilizadas.

- Vitrificadas ou cerâmicas: por apresentar durezas superiores aos resinóides e pela sua natural porosidade, prestam-se a altas taxas de remoção. A desvantagem principal está no seu elevado custo de fabricação. Exemplos de aplicação são a retificação interna, de eixos de comando de válvula e virabrequins.

- Metálicos sinterizados (ou apenas “metálicos”): tipicamente feitas de bronze, apresentam maior dureza que os ligantes resinóides e vitrificadas e conseqüentemente, maiores resistências ao desgaste (maior vida), mas com um corte mais “duro”. As principais utilizações são a retificação de materiais como vidro e pedras ou quando se tem grande exigência na manutenção de perfis agudos.

- Metálicos eletrodepositados (ou galvânicos): a fixação de apenas uma camada de grãos abrasivos por níquel garante uma forte ancoragem dos mesmos (podem ficar até 50 % expostos), possibilitando a existência de grandes espaços para alocação de cavacos e com isso, grande agressividade à ferramenta.

Concentração. A concentração indica qual o percentual de grãos abrasivos que formam a camada abrasiva. A escolha de uma maior concentração implica na maior quantidade de grãos atuando sobre a peça e a um melhor acabamento superficial. Entretanto, os espaços entre os grãos tendem a ficar insuficientes, prejudicando a remoção de cavacos e aumentando as temperaturas e as forças de retificação.

2.5 Recondicionamento

O recondicionamento de rebolos de CBN é mais difícil de ser executado devido à elevada dureza do material abrasivo, o qual desgasta dressadores estáticos rapidamente e também porque leva a um alisamento da superfície do rebolo (Bertalan, 1997). Por isso, faz-se necessária a utilização de dois processos normalmente distintos de recondicionamento: o perfilamento e a afiação do rebolo.

As funções do perfilamento são as de dar forma ao rebolo, para fazê-lo girar com o mínimo de erros de batimentos e para dar aos bordos um perfil especial, capaz de reproduzir a forma desejada (Stemmer, 1992). Além disso, o perfilamento também deve promover uma renovação da camada de grãos abrasivos para o corte. Mas como a camada de grãos abrasivos cegos de CBN é removida normalmente junto com o material ligante que os ancora, o rebolo perde em poder de corte. Os métodos de perfilamento mais utilizados são os que empregam ferramentas dotadas de cinemática própria, como com rebolos de carboneto de silício, blocos ou rolos de aço, rolos de esmagamento ou discos diamantados (Bertalan 1997).

Na afiação, por sua vez, é gerada uma determinada exposição dos grãos abrasivos acima do ligante através da remoção do mesmo. Esse processo é necessário principalmente em rebolos com ligantes resinóides para produzir a porosidade indispensável ao armazenamento do cavaco durante a retificação. Em rebolos com abrasivos convencionais, a porosidade natural dos mesmos dispensa a operação de afiação. O método usual para afiação de rebolos de CBN é através de barras abrasivas de coríndon. Também encontram aplicações jatos abrasivos ou rolos de aço com abrasivos soltos pressionados sobre o rebolo através da ação do fluido de corte (Leme, 1999).

2.6 Fluidos de corte

A retificação com superabrasivos, devido às altas taxas de remoção de material e velocidades de corte possíveis, requer normalmente a aplicação de fluidos de corte, seja pela necessidade de redução da temperatura de corte, como também para limpeza de cavacos nos poros do rebolo. Em situações de retificação a seco são empregados ligantes especiais e a operação é realizada com o uso de passes mais suaves e reduções de aproximadamente 30 % na velocidade de corte. Os fluidos normalmente utilizados são emulsões de óleos sintéticos (concentrações de 2 a 5 %) e óleos minerais aditivados (Winter, 1997).

3. DESENVOLVIMENTO DE UMA APLICAÇÃO

3.1 Operação escolhida

Uma operação que reunia boas condições para o sucesso na substituição de rebolos com abrasivos convencionais por rebolos de CBN era a retificação das duas faces do arrastador do pistão P (componente da bomba injetora). O princípio do processo é a retificação plana frontal de passagem das duas faces da peça, simultaneamente e em um único passe, utilizando um par de rebolos montados face a face.

A operação apresentava baixos índices de qualidade e produtividade. As recomendações técnicas previam dressagens a cada 10 peças, mas como esses procedimentos dependiam exclusivamente do operador, nem sempre a frequência era respeitada, ocasionando defeitos de dureza superficial, queimas, trincas e rebarbas na peça. Além disso, após as dressagens (executadas pela parte periférica dos rebolos), as peças apresentavam, muitas vezes, erros não admissíveis na largura e no paralelismo do arrastador, necessitando de reajustagens dos rebolos. A baixa produtividade era decorrente desses elevados tempos de preparação gastos com as várias dressagens, reajustagens e também com as trocas de rebolos (1,5 pares / dia em cada máquina). As características principais da peça na operação de retificação do arrastador são apresentadas na Fig. 2.

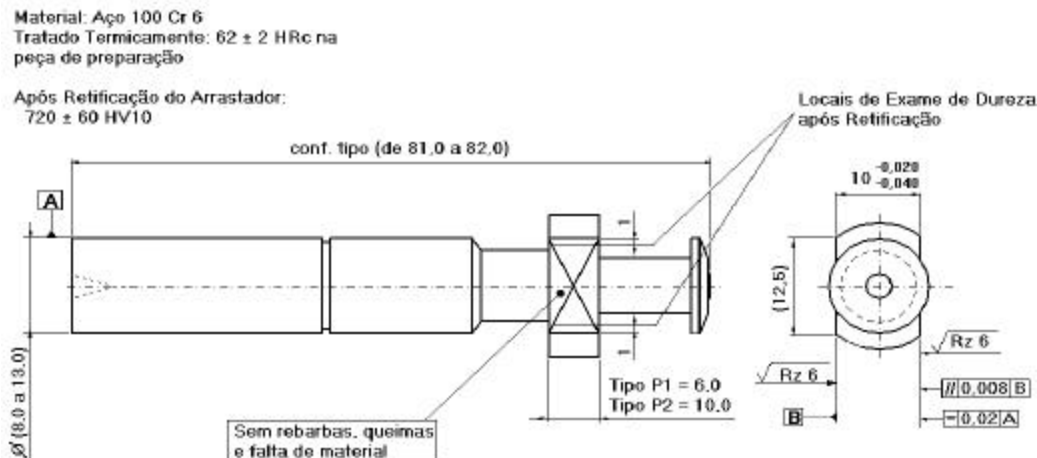


Figura 2 – Características principais da peça na operação

3.2 Experimentação e resultados

Até a introdução do novo tipo de rebolo, várias foram as dificuldades encontradas. Inicialmente testou-se os rebolos de CBN com ligante resinóide – KSSNYA V240 - que já haviam sido introduzidos em uma mesma operação de um outro tipo de pistão (o qual possui aproximadamente a metade da área retificada do tipo P1). Os resultados foram muito desfavoráveis. Primeiro porque as duas retificadoras, para esse novo desenvolvimento, apresentavam problemas de rigidez e folgas nas movimentações da mesa, acarretando em erros de simetria além do especificado e lascamentos do rebolo. Além disso, ocorreram queimas e trincas nas superfícies, comprovando também a inadequação do rebolo.

As máquinas foram reformadas com a introdução de melhorias que facilitassem também a introdução de rebolos de CBN, como o aumento das velocidades de corte do rebolo e melhoria no sistema de aplicação do fluido de corte. No teste subsequente, foi utilizado um rebolo com menor concentração (V180), para permitir mais espaços para cavacos e um corte mais macio. Os resultados dos testes não apresentaram mais os problemas quanto à simetria da peça e lascamentos, entretanto ainda foram observadas peças com dureza superficial baixa (HV10) e parcialmente queimadas.

Novos ensaios realizados com um rebolo com novo ligante resinóide – KSS10J -, especialmente desenvolvido para a usinagem de materiais sensíveis à temperatura e, com a concentração do rebolo anterior, mostraram-se muito satisfatórios. Em nenhum dos testes foram encontradas peças com defeitos, mesmo com a redução dos tempos de usinagem. Esse rebolo foi introduzido em caráter experimental e acompanhado por toda sua vida. Durante

tudo esse período não foram observados problemas em relação à qualidade das peças. O intervalo entre dressagens passou a ser cerca de 8.000 peças. Esse limite foi estabelecido devido à ocorrência de erros de paralelismo e/ou rebarbas nas peças. Com o decorrer da usinagem, os grãos da periferia do rebolo acabam sendo removidos e a superfície do mesmo vai ficando inclinada e arredondada, provocando os defeitos. Esse critério de vida entre dressagens foi adotado quando o desgaste atingia cerca de 0,30 mm na lateral do rebolo.

Como a máquina não dispõe de sistema apropriado para o condicionamento, este é executado na ferramentaria. Até que foi estabelecido um procedimento adequado para o condicionamento, várias vezes os rebolos não conseguiram repetir os resultados iniciais, necessitando de retrabalho. Nessa operação, para o perfilamento dos rebolos de CBN utilizou-se rebolos de carboneto de silício (removendo 0,4 mm em cada face) e a afiação com barras de coríndon.

Na Tabela 1, a título de comparação, são apresentadas as principais características do processo de retificação do arrastador com rebolos com abrasivos convencionais (anterior) e a situação atual com rebolos de CBN.

Tabela 1 – Comparação entre as características de processo anterior e atual

REBOLO	Abrasivos Convencionais	CBN
Especificação	225 – 16 - 50,8 AA 60 K 6 V15	B1 K4 A2 220 – 5 – 3 - 50,8 B151 KSS10 J A V180
Velocidade de corte (m/s)	35 a 25	42
Sobremetal em cada lado (mm)	0,15	0,15
Fluido de corte: emulsão óleo solúvel 5 %	pressão = 4,5 bar vazão 110 l/min	pressão = 6 bar vazão 150 l/min
Tempo de usinagem (s)	16	13
Tempo de operação (s)	22	18
Frequência de dressagem (peças)	10	~ 8000
Número de dressagens possíveis	~130	5
N.º de peças usinadas / par de rebolos	~ 1.300	~ 40.000
Relação “G” *	0,10	111,0
Taxa de retificação (mm³/s) - Pistão P2	2,34	2,88

* Relação G é a relação entre o volume de material removido da peça e o volume de material gasto do rebolo.

A substituição dos rebolos implementada resultou também em grande ganhos econômicos e de produtividade na operação, como pode ser verificado na Tabela 2.

Tabela 2 - Comparação econômica entre o processo anterior e o atual

Rebolos	Abrasivos Convencionais	CBN
Custo unitário/par de rebolos	R\$ 58,00	R\$ 680,00
Consumo Mensal/par de rebolos	79	3
Custo com Rebolos	R\$ 4.582,00	R\$ 2.040,00
Custo com Dressagem/mês	R\$ 202,50	R\$ 216,00
Custo com Troca de Rebolos/mês	R\$ 1.776,00	R\$ 67,50
CUSTO TOTAL/mês	R\$ 6.560,50	R\$ 2.323,50
ECONOMIA MENSAL		R\$ 4.237,00
ECONOMIA ANUAL		R\$ 50.844,00

4. CONCLUSÕES

Os resultados do trabalho comprovaram as expectativas referentes aos ganhos substanciais em qualidade e produtividade quando da substituição de rebolos com abrasivos convencionais por rebolos de CBN. Os dados práticos dessa otimização demonstram que foram sensivelmente aumentados os intervalos entre dressagens (de 10 para 8.000 peças),

redução conseqüente dos tempos gastos com essas dressagens e com trocas de rebolos, além da redução do tempo total da operação. Esses ganhos representaram um aumento de produtividade da operação de cerca de 25 %. Houve também melhoria de qualidade pelo não mais aparecimento de peças com queimas, trincas e rebarbas, que eram freqüentes na situação anterior.

Com um investimento inicial relativamente baixo, referente às melhorias na máquina e na compra de rebolos, foi possível uma redução de custos anuais na operação de aproximadamente R\$ 50.000,00. Além disso, a introdução de rebolos de CBN ocasionou uma necessidade reduzida de intervenção do operador sobre o processo. Isso propiciou a instalação posterior de um sistema semi-automático para carga e descarga de peças, melhorando ainda mais a produtividade e a economia na operação.

REFERÊNCIAS

- Basto, F. S., 1999, Retificação Cilíndrica Externa para Diferentes Condicionamentos do Rebolo de Nitreto de Boro Cúbico, Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.
- Bertalan, C., 1997, Retificação com Rebolos de Nitreto de Boro Cúbico em Máquinas-Ferramenta Convencionais, Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.
- Diniz, A.E., Marcondes, F. C. & Coppini, N. L., 1999, Tecnologia da Usinagem dos Materiais, MM Editora, vol. 1, São Paulo, SP, pp. 223-242.
- Leme, S. P. L., 1999, Dressamento por Toque em Rebolos de CBN, Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.
- Stemmer, C. E., 1992, Ferramentas de Corte II, Editora da UFSC, vol. 1, Florianópolis, SC, pp. 271-314.
- Winter do Brasil, 1997, Rebolos, Catálogo de Fabricante, Jundiaí, SP.

OPTIMISATION OF THE GRINDING PROCESS WITH CBN WHEELS

Abstract. *The utilisation of grinding wheel with superabrasives, in particular of Cubic Boron Nitrate (CBN) for the grinding of quenched steel, is becoming more important in shop floor production. The durability of sharpening condition and, consequently, of the wheel life, possibilities of full cuts, substantial reduction of set-up and machine readjustment time, reduction of metallurgic damages in surface integrity of the workpiece are the main advantages of using these wheels in grinding process. Therefore, the replacement of conventional abrasives wheels by superabrasives, viewing the process optimisation, requires a deeper study once as many factors influence the grinding process. Depending on the available conditions, the substitution becomes impracticable technically and economically. This work presents the data and the experience of a successful implementation of resin bond CBN wheels for the frontal plane grinding of a slot in the level of the piston of injection pumps (material: 100 Cr 6 quenched steel with 62 HRc). The technical requirements, as close position and geometric tolerances, the great sensibility of the material in presenting defects thermal origin (cracks) and not allowing burrs are the aspects that most difficulted the introduction of the new wheel type.*

Keywords: *Grinding, CBN, Superabrasives*