



ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO ENTRE REBOLOS SUPERABRASIVOS E CONVENCIONAIS, NA RETIFICAÇÃO CILÍNDRICA EXTERNA DO AÇO EUTECTIC ECT-NA-4923

Eduardo Carlos Bianchi¹, Vinício Lucas Varga¹, Thiago Cardoso Magagnin¹, Rodrigo Daun Monici², Osmar Vicari Filho¹

UNESP - Universidade Estadual Paulista, Departamento de Engenharia Mecânica

(1)bianchi@bauru.unesp.br, (2) daun@bauru.unesp.br, Bauru, SP, Brasil

Paulo Roberto de Aguiar

UNESP - Universidade Estadual Paulista, Departamento de Engenharia Elétrica

<mailto:aguiarpr@bauru.unesp.br>, Bauru, SP, Brasil

Resumo. *O desenvolvimento de novas tendências mundiais, como a globalização do mercado mundial, grandes exigências, no que tange à qualidade e exatidão de peças produzidas, são pré-requisitos necessários para o reconhecimento e desenvolvimento no setor industrial. Além de tais exigências, estão surgindo novos conceitos em produzir peças com mínima quantidade de refrigeração possível, pois tais fluidos. Nesse trabalho pretende-se apresentar um estudo experimental do desempenho de rebolos superabrasivos (CBN) e convencionais na retificação de aços endurecidos submetido a diversas condições de usinagem, direcionadas àquelas encontradas na fabricação de helicóides de aço EUTECTIC ECT-NA-4923 na empresa MACOEX, visando verificar a viabilidade técnica do uso dos rebolos superabrasivos no processo produtivo. São apresentados, como resultados, as variáveis de saída como força tangencial de corte, rugosidade superficial e relação G.*

Palavras-chave: *Retificação, Refrigeração, Rebolo.*

1. INTRODUÇÃO

Um dos processos de acabamento mais utilizados na fabricação de peças de precisão é o processo de retificação, mesmo sendo um dos processos de conhecimento tecnológico ainda menos disseminado, se comparado aos processos de usinagem com ferramenta de geometria definida (torneamento, furação, fresamento etc.).

A escolha adequada das condições de usinagem e das especificações do rebolo pode otimizar a vida útil da superfície de corte do rebolo, de modo a proporcionar uma maior capacidade de remoção de material (Bianchi, 1992). Os rebolos superabrasivos são ferramentas modernas para a retificação de aços endurecidos e seu desempenho é substancialmente superior aos rebolos convencionais. Entretanto, os rebolos superabrasivos podem ser fabricados com diversos tipos de ligantes, dependendo da aplicação industrial a que se destinam.

2. RETIFICAÇÃO PROFUNDA DE ALTA EFICIÊNCIA DO INCONEL

Segundo Tawakoli e Tavakkoli (1985), o Inconel é um material classificado como sendo de difícil usinagem, devido à sua extrema dureza. No caso da sua retificação, observa-se uma tendência muito forte de empastamento do rebolo. Apesar disto, devido às características de estabilidade térmica e resistência mecânica, o Inconel é muito utilizado na indústria de turbinas aeronáuticas e turbinas para geração de eletricidade.

O processo de retificação do Inconel vem sendo aplicado já a algum tempo, pois os processos convencionais de usinagem (torneamento, fresamento, etc) não constituem uma boa solução, devido a necessidade de grande precisão dimensional e alta capacidade de corte para materiais de elevada resistência.

Neste caso, o processo de retificação é caracterizado pela constante dressagem, no qual a superfície do rebolo vai sendo renovada (através do dressador) à medida que o processo de corte se desenvolve. Lembrando a tendência do material em empastar o rebolo, este método possibilitou durante muito tempo o uso da retificação como processo de usinagem do Inconel. Mas em contrapartida, pode-se concluir que é um processo muito dispendioso, pois à medida que o rebolo faz o corte, é desgastado pelo dressador de forma a permanecer afiado e livre do empastamento causado pelo material da peça.

Além disso, são utilizadas taxas de remoção de material muito baixas, se comparadas com as alcançadas por rebolos superabrasivos, além do desgaste do rebolo ser acentuado. A indústria aeronáutica e a energética estão direcionando investimento em pesquisas na área da aplicação dos superabrasivos na usinagem do Inconel.

Utilizando um processo denominado Retificação Profunda de Alta Eficiência (RPAF), que consiste em utilizar grandes profundidades de corte (com avanço lento) e altas velocidades de corte, gerando maiores taxas de remoção de material, alcançou-se um desempenho favorável de corte para remoção deste material. Altas velocidades de corte ocasionam a elevação da força e potência de corte, bem como uma maior geração de calor. A elevada geração de calor pode ser reduzida com a utilização de um sistema de alimentação de refrigerante de alta vazão e pressão, que contribui para a retirada do calor gerado no corte e para facilitar a remoção dos cavacos.

König, Yegenoglu e Stukenholz (1985) afirmam que um aumento considerável no desempenho de retificação de aços DTG (difficult to grinding), ou seja, materiais de difícil retificação, pode ser alcançado com rebolos de CBN, pois estes apresentam resistência ao desgaste e melhor dissipação de calor quando compara aos rebolos convencionais de óxido de alumínio, possibilitando também reduções consideráveis no tempo de produção sem perda de qualidade. A otimização dos processos de perfilamento e avivamento, ocorridas somente em rebolos superabrasivos de CBN, é vital para a adaptação da topografia do rebolo para as altas necessidades do processo de retificação.

Os ensaios realizados por König, Yegenoglu e Stukenholz (1985), mostraram que a alta velocidade de corte com os rebolos de CBN permitiram um aumento na taxa de remoção de material em cerca de 20 vezes, se comparado com o sistema de abrasivo convencional. Assim é possível obter uma redução do tempo e custo envolvidos no processo. O custo final do sistema de retificação convencional é cerca de 30% maior se comparado com o sistema de retificação com superabrasivos de CBN. Espera-se ainda muitos desenvolvimentos na técnica da fabricação de rebolos de CBN, tendo em vista o grande desenvolvimento deste tipo de ferramenta abrasiva.

3. OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo o estudo experimental do desempenho entre rebolos superabrasivos de CBN e convencionais na retificação de aços endurecidos submetidos a diversas condições de usinagem, em especial àquelas encontradas no caso da fabricação de helicóides utilizada para esmagamento de grãos de cereais na empresa MACOEX, localizada na cidade de Jaú (no Estado de São Paulo), feita de aço EUTECTIC ECT-NA-4923, visando verificar a viabilidade técnica do uso dos rebolos superabrasivos no processo produtivo.

4. METODOLOGIA

Os ensaios foram feitos, por meio de uma retificadora cilíndrica externa modelo RUAP 515 H-CNC - SulMecânica, através dos corpos de prova, cujo núcleo foi formado por aço ABNT 1020, sendo tal material utilizado como base para sustentar o metal que foi usinado. A medição da força específica de retificação foi realizada através de software de aquisição de dados, Labview 5.0; a medição da rugosidade foi feita através de rugosímetro marca Taylor Hobson, modelo Sultronic 3⁺ e a medição da relação G foi efetuada através da medição do perfil da ferramenta, marcada em barra de aço 1020 e medido através de apalpador eletrônico. Uma camada de 4mm de espessura de aço Eutetic ECT-NA 4923, de dureza superficial média de 73 HRc, depositada na superfície da peça, pelo processo MIG de soldagem. Este processo, faz com que o cordão soldado apresente uma rugosidade muito alta, impossibilitando sua usinagem direta com os rebolos que foram adotados para o ensaio. Assim, uma usinagem prévia com rebolo de menor concentração foi realizada, de forma a uniformizar a superfície da peça e permitir a aplicação dos rebolos adotados, de malha muito mais fina. Ao término desta etapa, a peça se encontrava nas condições para executar os ensaios. Para a realização dos ensaios propostos, dois rebolos foram empregados: um convencional de óxido de alumínio com especificação 19 A 100 S V SB, e um superabrasivo de CBN com ligante resinóide de especificação NB 126 R100 BK.

Para a preparação do rebolo convencional, foi utilizada a dressagem com ponta única de diamante. Essa operação tem como característica remover material do rebolo (grãos e ligante) pelo impacto destes com o diamante do dressador. Adotou-se o valor de U_d (grau de recobrimento de dressagem) = 1, ($U_d = b_d$ (largura de atuação do dressador)/ S_d (passo de dressagem)) para o alto desbaste devido à necessidade de se utilizar a máxima capacidade de corte do rebolo nestas condições. Para o rebolo de CBN com ligante resinóide foi utilizado a técnica de perfilamento seguido de avivamento, utilizando um disco diamantado rotativo para o perfilamento e um rebolo convencional para o avivamento. Um cabeçote especial para a fixação do disco diamantado foi preso à máquina e um motor elétrico de corrente contínua acionou o eixo do disco gerando uma velocidade relativa de 70% entre o rebolo e o disco diamantado.

As condições de usinagem utilizadas nos ensaios foram de alto desbaste, desbaste e acabamento. Um resumo dos parâmetros de entrada dos ensaios realizados é mostrado na tabela 1, mostrando os valores usados tanto para o rebolo convencional como para o superabrasivo:

Tabela 1 – Resumo das condições de usinagem para os ensaios realizados.

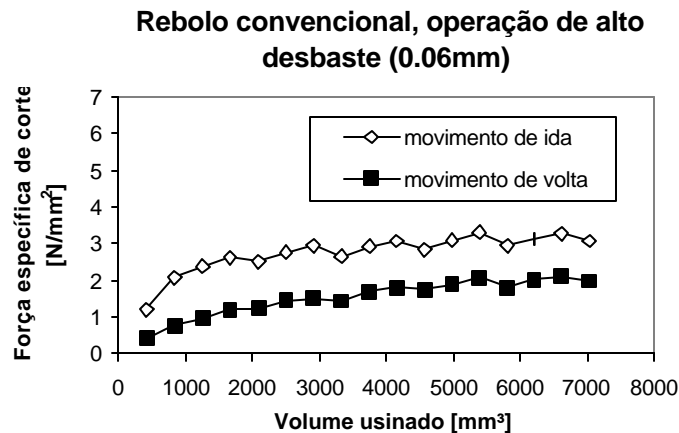
Operação	v_s *	v_f *	v_w *	a_e *	h_{eq} *	d_w *	Número total de passagens	Nº de passagens entre cada medição do R_a
	[m/s]	[mm/s]	[m/s]	[μ m]	[μ m]	[mm]		
Alto desbaste	33	6,2	0,97	60	0,62	350	17	3
Desbaste	33	6,2	0,97	30	0,31	350	33	5
Acabamento	33	6,2	0,97	10	0,10	350	102	15

* v_s - Velocidade tangencial do rebolo
 v_f - velocidade de mergulho do rebolo
 v_w - Velocidade tangencial da peça

a_e - Profundidade total de retificação
 h_{cq} - Espessura equivalente do cavaco
 d_w - diâmetro do rebolo utilizado

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nas figuras 1 a 6 são apresentados os resultados para a força específica de corte (rebolos convencionais e superbrasivos), onde pôde-se notar uma tendência da força de corte aumentar acentuadamente no início e se estabilizar em um determinado valor. Uma das causas deste tipo de comportamento é a atuação do macroefeito produzido pela dressagem. No início, este macroefeito, que nada mais é do que uma espécie de “rosca” produzida pelo diamante, atua no sentido de apresentar grãos mais pontiagudos, porém menos ancorados ao ligante. Com o



decorrer do processo, estes grãos mal ancorados se desprendem inicialmente nos pontos mais altos da “rosca”. Então os grãos que estavam abaixo do nível inicial passam a ser atuantes no processo de corte. Assim, pode-se afirmar que grãos mais pontiagudos e em menor número atuavam no corte no início do processo. Ao prosseguir o corte, estes grãos são removidos do ligante, restando os grãos da camada inferior, em maior número e menos afiados. Sendo estes grãos mais solidamente fixos ao ligante, ocorre o desgaste do próprio grão abrasivo, promovido pelo atrito entre a ferramenta e a peça. Um outro motivo para o comportamento da força tangencial de corte decorre do fato de que inicialmente poucos grãos abrasivos removem material, pela ação do macro efeito de dressagem.

Assim, poucos grãos removem material fazendo com que estes tendem a se desgastarem e desprenderem as superfície de corte do rebolo. Assim, a força de corte por grão é alta. Com a perda do macroefeito há a ação do micro efeito de dressagem onde muitos grãos participam da remoção de material. Conseqüentemente, a força por grão é menor mas a força total é maior pela composição das perdas dissipativas dos grãos por geração de calor, emissão acústica, atrito e riscamento, dentre outras.

Figura 1 - Força específica de corte para rebolo convencional, em operação de alto desbaste.

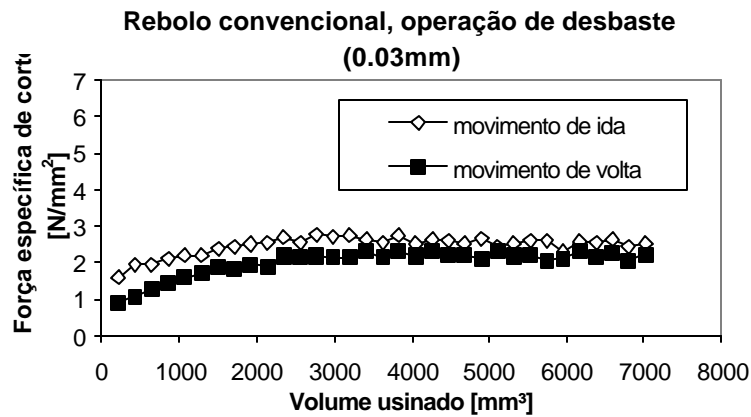


Figura 2 - Força específica de corte para rebolo convencional, em operação de desbaste.

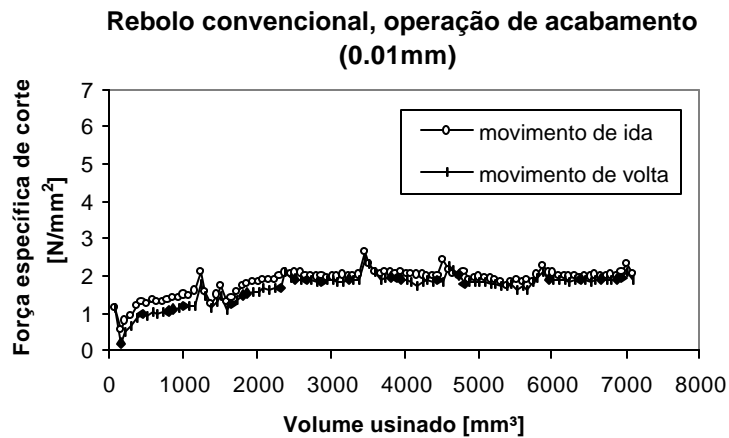


Figura 3 - Força específica de corte para rebolo convencional, em operação de acabamento.

Isto explicaria o fato da força aumentar no início e tender a se estabilizar. O rebolo apresentaria um desgaste por desprendimento dos grãos acentuado no início e, com o passar do tempo, o desgaste dos grãos mais fortemente presos ao ligante tomaria lugar do efeito do desprendimento de grãos, até se atingir o equilíbrio, que seria a força dada no estado estabilizado. Os resultados para o rebolo superabrasivo de CBN com ligante resinóide serão mostrados a seguir, nas figuras 4, 5 e 6.

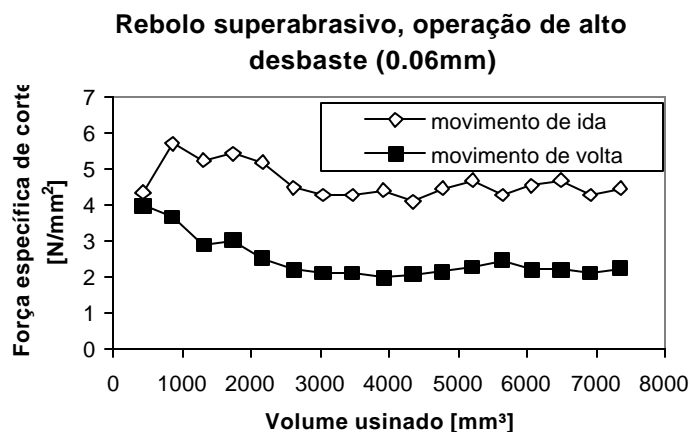


Figura 4 - Força específica de corte para rebolo de CBN, em operação de alto desbaste.

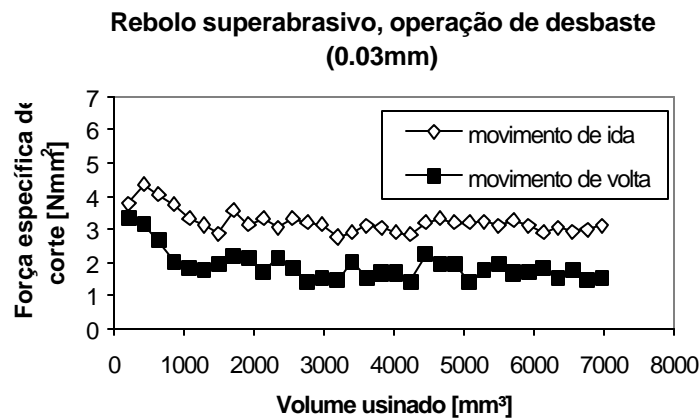


Figura 5 - Força específica de corte para rebolo de CBN, em operação de desbaste.

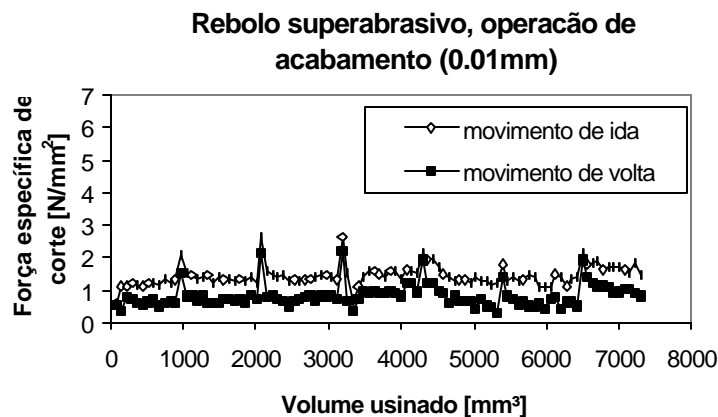


Figura 6 - Força específica de corte para rebolo de CBN, em operação de acabamento.

O rebolo superabrasivo não apresenta o mesmo comportamento do rebolo convencional. Ao invés da força aumentar no início do ensaio e se estabilizar em um determinado valor, para o rebolo de CBN a força começa com um salto e decresce, permanecendo constante no decorrer de todo o ensaio. Isto pode ser atribuído ao fato do rebolo de CBN com ligante resinóide se apresentar inicialmente grãos com grandes áreas no topo, decorrente do processo de perfilamento. Com o decorrer do processo, estes grãos são fraturados gerando novas arestas de corte pela fratura da área no topo dos grãos, com arestas afiadas e, devido à extrema dureza do CBN, muito resistentes ao desgaste. Isto explicaria o comportamento estabilizado da força de corte durante o ensaio.

Em quase todos os ensaios pode-se notar que o valor da força de corte “oscila” quase que periodicamente. Isto se deve à retirada da peça da máquina para medição da rugosidade e erro dimensional. Cada vez que a peça era recolocada em seu lugar, uma pequena excentricidade fazia com que a força aumentasse um certo valor, mas se estabilizasse posteriormente, após se corrigir este defeito. Por ser uma operação de alta precisão, qualquer partícula que se aloje no furo do apoio entre-pontas seria suficiente para causar tal efeito.

A rugosidade superficial para cada rebolo está mostrada nas figuras 7 e 8.

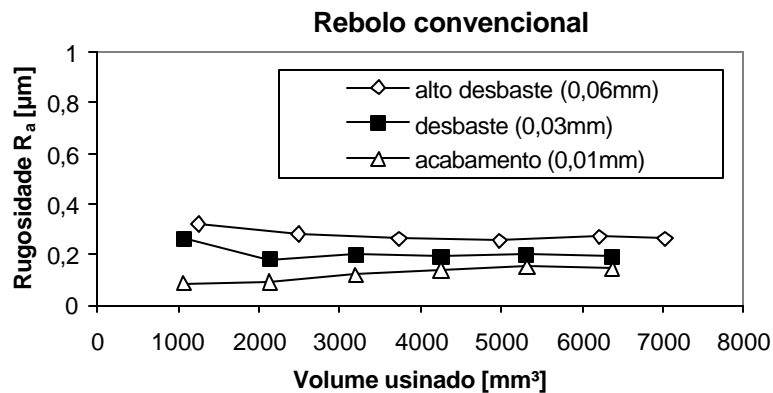


Figura 7 - Rugosidade para rebolo convencional.

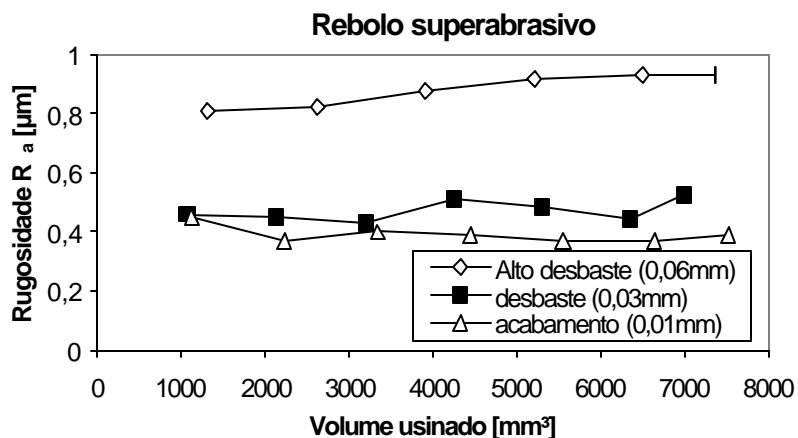


Figura 8 - Rugosidade Ra para rebolo superabrasivo de CBN.

Pode-se notar que a rugosidade gerada pelo rebolo de CBN foi mais elevada quando comparado ao rebolo convencional. Tal fenômeno deve-se ao rebolo convencional por ter uma distribuição de grãos mais fechada, com distâncias entre os grãos menores que para o superabrasivo, apesar dos rebolos serem classificados como tipo fino. Outro fator é a capacidade maior do rebolo de CBN com ligante resinóide em reter grãos mais pontiagudos e duros, o que provocaria um maior riscamento da peça e assim aumentar o valor da rugosidade. Na figura 9 são mostrados os valores da relação (G) para cada ferramenta.

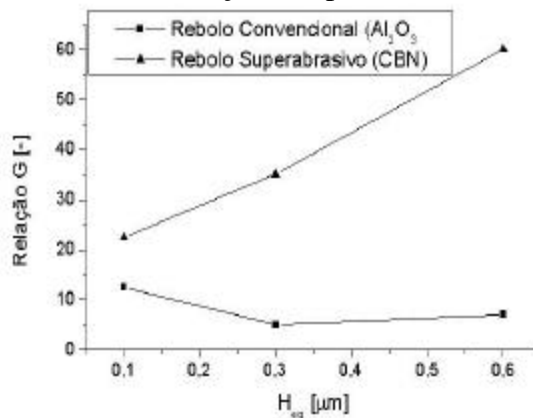


Figura 9 - Relação G para o rebolo convencional.

Nota-se que os valores da relação G para o rebolo superabrasivo de CBN é notadamente elevado. Isto significa uma grande capacidade de resistir ao desgaste. Devido à extrema dureza do grão de CBN e das características do ligante resinóide, o desgaste radial foi muitas

vezes inferior ao encontrado no rebolo convencional. Isso se traduz em um maior volume de peças usinadas entre cada operação de preparo do rebolo, expressando uma grande capacidade de resistir ao desgaste. Devido à extrema dureza do grão de CBN e das características do ligante resinóide, o desgaste radial foi muitas vezes inferior ao encontrado para o rebolo convencional.

6. CONCLUSÕES

Dos resultados obtidos pode-se notar que o comportamento da relação G foi consideravelmente vantajosa com o rebolo superabrasivo de CBN, porém os valores de rugosidade superficial foram menores com a utilização do rebolo convencional. Assim, tem-se a oportunidade de se verificar alguns parâmetros do processo envolvidos na fabricação do helicóide, principalmente com relação ao desgaste da ferramenta, no qual se verificou que o valor G para o rebolo superabrasivo foi significativamente maior quando comparado ao rebolo convencional de óxido de alumínio, refletindo assim grande economia no que tange à velocidade de produção de peças. Verificou-se também que os valores médios de força específica de corte para o rebolo de CBN nas operações de acabamento foram menores devido ao microefeito ocorrido na mesma, ao contrário para a ferramenta convencional onde o microefeito não corre de maneira expressiva.

REFERÊNCIAS

- Tawakoli, S. T.; Tavakkoli, S. J.; "High efficiency deep grinding (HEDG) of Inconel and other materials". Wohleberg. Superabrasives'85, 22-25 de abril de 1985, Chicago, Illinois. Pág. 4-67 a 4-80.
- Hannard, M. R.; "Production grinding of cam lobes with CBN", Catterpillar Tractor Company, East Peoria, Illinois. Superabrasives'85, 22-25 de abril de 1985, Chicago, Illinois. Pág. 4-1 a 4-11.
- König, W.; Yegenoglu, K.; Stukenholz, B.; "Lower grinding costs and better workpiece quality by high-performance grinding with CBN whells". Aachen Technical University. Superabrasives'85, 22-25 de abril de 1985, Chicago, Illinois. Pág. 9-21 a 9-43.
- Oliveira, J. F. G.; "Tópicos avançados sobre o processo de retificação". Universidade de São Paulo, São Carlos, setembro de 1998.
- Bianchi, E. C.; "Ação da geometria teórica do cavaco no desgaste de rebolos de CBN com ligante resinóide". São Carlos, EESC - USP, 1992. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica).

COMPARATIVE ANALYSE BETWEEN SUPERABRASIVES AND CONVENTIONAL WHEELS ON CYLINDRICAL GRINDING OF EUTECTIC ECT-NA-4923 STEEL

Abstract. *The development of industrial on the world how the globalization show that the process may show results satisfactory in this sector. This article show a study of the grinding using two wheels with tree values of the cylindrical grinding condition on the surface the pieces with steel eutectic ECT-NA-4923. The tests showed that the CBN wheel removed more material and lose less abrasives grains (CBN), this wheel gave less results of the cutting force and G relation. As a result of roughness the conventional wheel gave a better value with relation the superabrasive wheel. The eutectic ECT-NA-4923 steel is applied on the MACOEX to fabrication of pieces of equal material.*

Keywords: *Cylindrical grinding, Abusive grinding, condition*