

## **DESENVOLVIMENTO DE REBOLOS SUPERABRASIVOS DE LIGA GALVÂNICA COM CORPO DE ALUMÍNIO.**

**Walter Lindolfo Weingaertner**

*Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica - Florianópolis, SC, Brasil - [wlw@emc.ufsc.br](mailto:wlw@emc.ufsc.br)*

**Antonio Carlos Severiano**

*Interação Ferramentas Ltda - INTERAÇÃO, diretor – Curitiba, PR, BRASIL - [antonioseveriano@uol.com.br](mailto:antonioseveriano@uol.com.br)*

**Resumo.** *A indústria metal-mecânica tem passado por grandes transformações nas três últimas décadas, na busca contínua da qualidade e produtividade, com redução de nível de poluição ao meio ambiente e reciclabilidade. Isto faz com que os projetos de componente de produtos sejam dimensionados com tolerâncias de construção cada vez mais reduzidas e cada vez mais, sejam empregados métodos de controle estatísticos para controle da produção. Desta forma, cresce proporcionalmente a exigência sobre o desenvolvimento do projeto de máquinas retificadoras para operações de acabamento no processo produtivo. Um exemplo disso é o contínuo crescimento da velocidade de corte obtido através da melhoria do sistema de refrigeração e da otimização do formato do rebolo com conseqüente aumento da velocidade de remoção em operações de retificação proporcionando redução do tempo de produção. Para atender essas exigências os fabricantes de máquinas retificadoras empregam, preferencialmente, os rebolos superabrasivos. Os rebolos superabrasivos constituídos de grãos de diamante ou de CBN diferem dos abrasivos convencionais pela superior dureza, condutibilidade térmica e estabilidade a altas temperaturas geradas no processo de retificação. Muitos são os tipos de rebolos empregados nas diversas operações de retificação diferenciando-se entre si pela forma geométrica do corpo, pela natureza dos grãos ou pelo processo de fabricação. Os rebolos superabrasivos fabricados por deposição galvânica são empregados para altas velocidades de remoção de material e são atualmente construídos sobre um corpo de aço. Esse trabalho alia as características mecânicas da deposição galvânica e as vantagens das características físico-químicas do corpo de alumínio com o objetivo de otimizar as operações de retificação que empregam este tipo de rebolo. Para realizar este trabalho foi construído um rebolo de CBN de corpo de alumínio ligado galvanicamente especialmente projetado para a realização dos experimentos. Estes experimentos foram realizados na empresa Robert Bosch Ltda. A ferramenta foi fabricada pela Saint-Gobain abrasivos marca Winter. Esta atualmente é amplamente empregado nas empresas FRAS-LE, fabricante de lonas de freio, e na DURMET fabricante de insertos especiais de metal duro. Em paralelo foram realizados ensaios através de software para avaliar a expansão e as tensões, sofridas por um corpo genérico de rebolo, quando submetido à alta velocidade. Os resultados dos experimentos comprovam que a deposição galvânica em corpo de alumínio resiste aos esforços térmicos e mecânicos submetidos a baixas e elevadas velocidades de corte, sendo que, para altas e altíssimas velocidades de corte é preciso otimizar o projeto do rebolo.*

**Palavras-chaves:** *Máquinas retificadoras, rebolos superabrasivos, deposição galvânica.*

## 1. INTRODUÇÃO

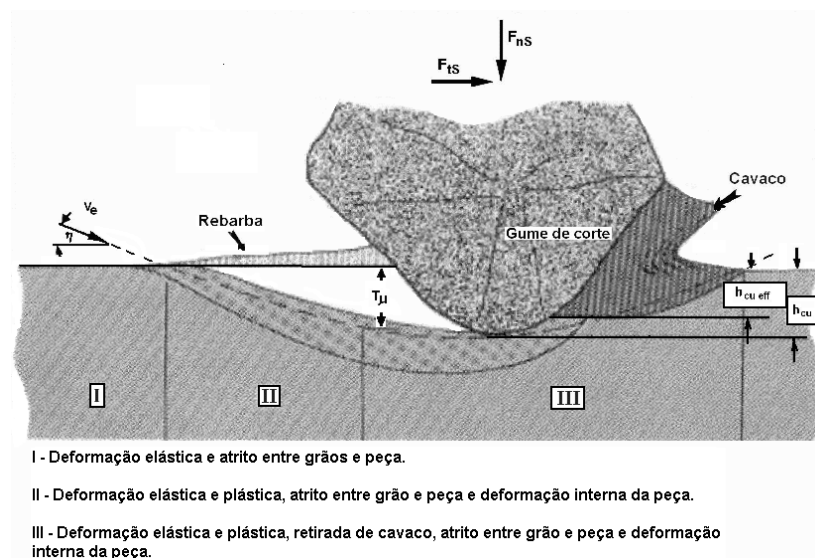
A preocupação com a melhoria do desempenho dos produtos industrializados, visando menores níveis de ruído, bem como a economia de combustível e a preocupação com o meio ambiente, têm exigido cada vez mais tolerâncias apertadas dos componentes de produtos manufaturados. Para satisfazer essas necessidades, há o desenvolvimento de novas tecnologias de processo com novas máquinas-ferramentas e novas ferramentas de corte. Dentre os novos processos podemos citar a tecnologia de fabricação com máquinas e ferramentas para alta velocidade, a usinagem de aços endurecidos, a usinagem com pastilhas de Cerâmica, Cermet e CBN, a usinagem com mínimas quantidades de fluido de corte (MQFC), a retificação com rebolos de CBN com ligantes vitrificados e o emprego de rebolos de diamante e CBN de ligantes galvânicos para desbastes com alta velocidade de remoção de material. Dentro destas tecnologias a retificação empregando rebolos de superabrasivos com ligante de níquel aplicado galvanicamente apresenta um particular interesse para a indústria de manufatura tendo em vista o emprego destes rebolos a baixas, elevadas e altas velocidades de corte sendo estes o objetivo deste trabalho.

## 2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é o de avaliar o comportamento de um reboło de CBN com ligante galvânico com corpo de alumínio submetido a esforços térmico e mecânico através de ensaios numéricos e práticos. Para tal, será feita uma análise numérica através da simulação de um corpo de alumínio a alta velocidade, objetivando avaliar a expansão sofrida pelo aumento da velocidade tangencial. Para avaliar o comportamento térmico e mecânico da deposição galvânica sobre o corpo de alumínio, vamos testar um reboło especialmente construído para a operação de abertura de canais para retificadora plana de passagem empregando o aço DIN Mn Cr S5 temperado e beneficiado com 60 HRC a baixas e elevadas velocidades de corte.

## 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 3.1 A operação de retificação



**Figura 1** – Sequência de formação do cavaco na retificação [1].

A retificação é um dos processos de fabricação realizados por retirada de material por ação mecânica do rebolo sobre a peça onde o grão abrasivo é constituído de um material mais duro do que o material da peça. Nesse processo, os grãos abrasivos passam pela peça-obra em uma trajetória definida e retiram materiais, sob forma de cavacos, gerando calor por um forte atrito e deformações elástico-plásticas na zona afetada [fig.1] [1].

O resultado desejado, em função do projeto da peça, de uma forma geral não pode ser obtido pela avaliação de um único parâmetro, mas sim por uma avaliação criteriosa da combinação de vários parâmetros simultaneamente. O processo de retificação pode ser caracterizado por grandezas como as componentes da força de usinagem, a vida do rebolo (desgaste do grão abrasivo) e a temperatura. O resultado do processo deve ser avaliado em função da qualidade da superfície retificada e de aspectos econômicos, como custo de fabricação, que estão diretamente ligados com a variável velocidade de remoção.

### 3.1.1 Forças na retificação

Segundo König [1], a força de usinagem que atua sobre o gume e sobre a peça durante a fase de ação do rebolo, pode ser subdividida em duas componentes: a força tangencial ( $F_{ts}$ ) no sentido do corte e uma componente normal ( $F_{ns}$ ) (normal a  $F_{ts}$ ) conforme Fig.1. O quociente entre ( $F_{ns}/F_{ts}$ ) é denominado: relação de força de usinagem. A força de usinagem da ferramenta como um todo é a soma vetorial das forças que atuam momentaneamente sobre os gumes isolados da parte da ferramenta em que se está atuando. Por este motivo, a relação da força de usinagem que age sobre a máquina-ferramenta depende de uma forma bastante intensa da relação da força de usinagem que atua sobre os grãos isolados. Durante a fase em que temos apenas o escoamento lateral do material (vide figura 1) a força normal com a qual o gume deve ser pressionado para dentro da peça é, consideravelmente, maior do que a força tangencial. A relação da força de usinagem, nesse caso, tem um valor relativamente alto. No início da formação do cavaco, a força tangencial aumenta, de forma que a relação de forças diminui. Desta forma, podemos constatar que:

Gumes mais afiados com um raio do gume menor e/ou um atrito maior permitem que o início da formação do cavaco se dê mais cedo. Dessa forma, a força tangencial é maior e, portanto, a relação de forças se torna menor.

Ao contrário, gumes mais cegos com um raio do gume maior e/ou um atrito menor, que atue no sentido de aumentar a fase de escoamento do material, de forma que quando há lubrificação, é excessiva, ou, quando o gume está demasiadamente cego, deve-se esperar uma relação de força grande.

No caso de gumes cegos, esses somente atitam contra a peça. O material é apenas deformado plasticamente, sem que haja a formação de cavacos. Com isso, a quantidade de energia dissipada no corte sobre a peça aumenta, comprometendo a qualidade da mesma [1].

### 3.2 Tipos de grãos abrasivos

Os materiais empregados para grãos abrasivos podem ser divididos em abrasivos naturais e abrasivos sintéticos [1]. Dentre os materiais abrasivos naturais podemos citar o Diamante, o Coríndon natural e o Quartzo, sendo esses obtidos na natureza. Já os materiais abrasivos sintéticos são obtidos através do controle de parâmetros, como o tempo, a temperatura e a pressão em uma atmosfera controlada. Dentre estes podemos citar o Nitreto Cúbico de Boro (CBN), o Diamante sintético (DT), o Óxido de Alumínio ( $Al_2O_3$ ) e o Carboneto de Silício (SiC). Os grãos abrasivos sintéticos [2,3], ainda podem ser divididos em abrasivos convencionais e superabrasivos, sendo os abrasivos convencionais o Óxido de Alumino e o Carboneto de Silício e os superabrasivos, o Diamante e o Nitreto Cúbico de Boro [1,2,3].

### 3.2.1 Grãos abrasivos sintéticos superabrasivos – Diamante e CBN

Tanto o diamante natural quanto o sintético são compostos quimicamente de carbono puro. O diamante natural se formou em condições de pressões extremas e em temperaturas elevadas, durante um longo período de tempo. Nem todos podem ser empregados em joalheria, em decorrência de falhas internas e de coloração não adequada para o comércio. Aproximadamente 80% dos diamantes naturais são empregados na indústria [1]. O diamante sintético obtido pela transformação alotrópica do elemento químico carbono, através da ação de um catalisador sob alta pressão e temperatura, detém praticamente as mesmas propriedades do diamante natural. Sua dureza extrema média em Knoop é tida como sendo ( $K_{100} = 7000$ ) duas vezes maior que o Óxido de alumínio e que o Carboneto de Silício. A grafitização do Diamante inicia-se a partir de 900 °C e a sua oxidação, após 1400 °C. Essas propriedades limitam a aplicação do diamante em materiais ferrosos [1].

O CBN é um material sintético, obtido através da transformação alotrópica 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 dificultado pela tendência do carbono do diamante se difundir no ferro, sob condições de pressão e temperatura usuais de usinagem [1,2,3]. Além disso, comparado ao diamante, o CBN apresenta uma resistência elevada à temperatura. Enquanto que no diamante a grafitização se inicia a partir de 900 °C, o nitreto de boro cúbico, à pressão atmosférica, apresenta estabilidade até 2000 °C. Paralelamente a isso, segundo Bertalan (1997) [3], a queda da dureza do diamante com o aumento de temperatura é acentuada a partir de 500 °C e em 800 °C ela é inferior à do CBN na mesma temperatura [1,2,3,4].

### 3.3 Rebolos para altas velocidades de retificação

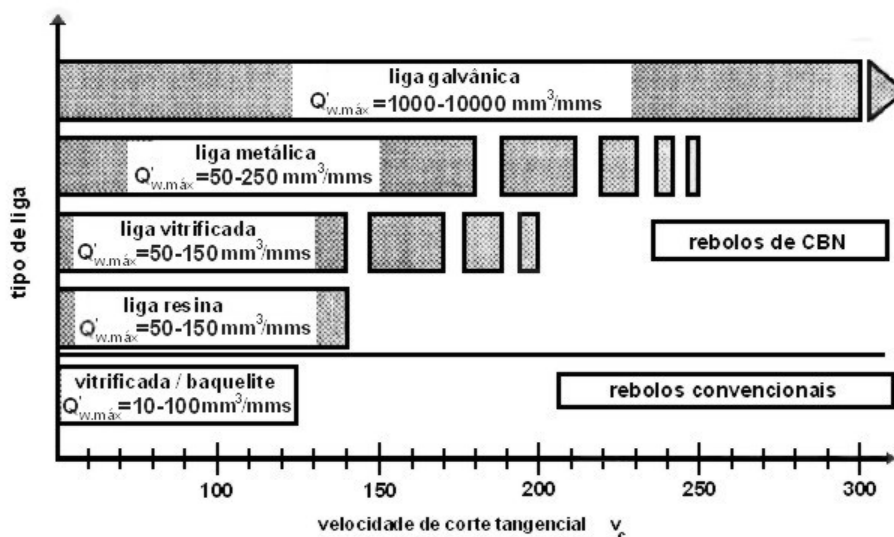


Figura 2 – Tipos de ligantes para altas velocidades de corte [6]

Rebolos superabrasivos para retificação de alta velocidade têm requisitos especiais em relação à resistência à fratura e ao desgaste. Boas características de amortecimento, alta rigidez e boa condutibilidade térmica são também desejáveis. Essas ferramentas, normalmente, consistem em um corpo de alta resistência mecânica e em uma camada abrasiva relativamente fina, ligada ao corpo por um adesivo de alta resistência. [6]. Altas velocidades

de corte são atingíveis acima de tudo com sistemas de ligas metálicas. Um método que usa tais sistemas de ligas é a eletro-deposição galvânica. Além da necessidade de escolher o sistema de liga apropriado para o rebolo, de acordo com os requisitos da aplicação em questão, a resistência do corpo do rebolo deve ser melhorada com altas velocidades de corte. No caso de velocidades de corte muito altas, o desenho convencional de rebolo, envolvendo um corpo retangular e um furo, freqüentemente leva à dilatações excessivas e irregulares do corpo e à fratura da camada abrasiva. Para eliminar a possibilidade de falha do rebolo em altas velocidades, o material e a geometria do corpo devem ser capazes de lidar com velocidades de corte muito altas. Um outro objetivo do corpo do rebolo deve ser a redução da magnitude das forças centrífugas, otimizando o formato do corpo do rebolo sem prejudicar a segurança operacional. Tensão excessiva no corpo do rebolo deve ser evitada e a menor dilatação possível do corpo é tolerada. Uma redução na massa é também necessária para deslocar as freqüências naturais críticas do sistema na direção de velocidades angulares maiores. Desenvolvidos em projetos de rebolos para retificação de alta velocidade têm sido focados em redesenhar e otimizar o formato do corpo para rebolos CBN vitrificados e galvânicos [6,7].

### 3.3.1 Ligante metálico eletro-depositado

Nesse processo, o ligante metálico eletro-depositado (ou galvânico), normalmente de Níquel, serve para a fixação de apenas uma camada de grãos abrasivos. Isto garante uma forte ancoragem dos grãos que podem ficar até 70 % expostos [6], garantindo grandes espaços para alocação de cavacos e, com isso, grande agressividade à ferramenta. Esses rebolos são denominados de camada única. A espessura da camada de níquel é de, aproximadamente, 30%, variando até 70% da altura do grão, dependendo da aplicação e das características do processo. Por exemplo, um grão de superabrasivo (Dt ou CBN), tamanho D/B252 [4, 5], pode ter uma camada de níquel com espessura variando entre 100 a 125  $\mu\text{m}$ . Os fabricantes de ferramentas galvânicas empregam o corpo de aço para a fabricação dos rebolos galvânicos mas as vantagens do corpo de alumínio são inúmeras pois, seu módulo de elasticidade  $E = 69 \text{ GPa}$  proporciona um relativo amortecimento das vibrações causadas por desbalanceamentos decorrentes de excentricidades na montagem do rebolo. Dependendo da liga empregada, sua resistência mecânica pode chegar a  $270 \text{ N/cm}^2$  e proporciona aplicações em operações relativamente severas como a abertura de rasgos em materiais endurecidos. Seu peso específico  $\rho = 2,7 \text{ g/cm}^3$  proporciona um baixo peso facilitando a montagem e a desmontagem na máquina retificadora. Sua condutibilidade térmica  $234 \text{ W/m.K}$  permite rápida dissipação de calor gerado na operação de retificação, evitando a queima do ligante resinóide e diminuindo a camada afetada pelo calor [6, 8].

### 3.4 Base teórica para retificação a altas velocidades

Como o grão abrasivo não possui uma geometria definida, a análise do mecanismo de corte na retificação é feita por métodos estatísticos. A espessura média de cavaco não deformado,  $h_{cu}$ , é dependente da densidade estatística das arestas cortantes,  $C_{stat}$ , e das variáveis geométricas e cinemáticas conforme equação abaixo [1,6]:

$$h_{cu} = k \cdot \left[ \frac{1}{C_{stat}} \right]^{\alpha} \left[ \frac{v_w}{v_s} \right]^{\beta} \left[ \frac{a_e}{d_{eq}} \right]^{\gamma}$$

onde  $v_w$  é a velocidade da peça,  $v_s$  a velocidade do rebolo,  $a_e$  a profundidade de corte,  $d_{eq}$  o diâmetro equivalente do rebolo, e  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  são maiores do que zero. Baseado

nesta relação, deduz-se que um aumento na velocidade de corte, assumindo as outras condições constantes, resultará em uma redução na espessura do cavaco não-deformado. Com isso, como há uma menor retirada de material por volta do rebolo, há uma redução na força de corte, levando à vantagens esperadas pela retificação que é caracterizada pela redução nas forças de usinagem, no desgaste do rebolo e na rugosidade da superfície da peça. Conseqüentemente, aumentar a velocidade do rebolo pode levar a uma melhoria da qualidade da peça ou a um aumento da produtividade.

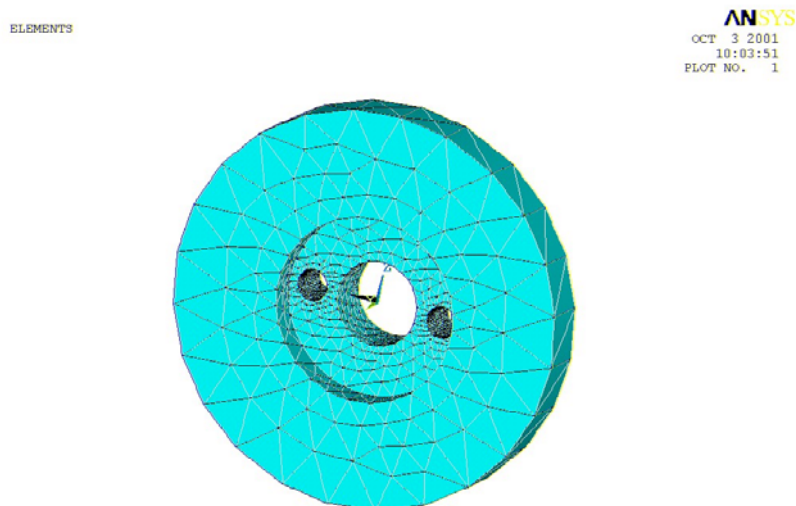
Quando a taxa de remoção de material é também aumentada, a força tangencial, que é crescente, resulta em um aumento maior na potência de retificação. Porém, a quantidade de energia térmica introduzida na peça é menor do que na situação inicial quando se tem o mesmo volume de peça usinada, apesar da velocidade de corte e da taxa de remoção de material serem maiores. Essas considerações mostram que a produtividade da usinagem pode ser aumentada usando retificação de alta velocidade sem, no entanto, ter que aceitar efeitos térmicos indesejáveis em componentes retificados. Nesse caso, a ação do refrigerante e a natureza do grão abrasivo são de extrema importância para dissipar o calor gerado e com isso garantir o acabamento e a íntegra da superfície da peça retificada, bem como a vida do rebolo.

Na década de 80, máquinas retificadoras com velocidades de corte na faixa de 80 m/s, trabalhando com rebolos de CBN com ligas vitrificadas, eram consideradas excepcionais. Pesquisas revelam que é possível chegar a 500 m/s [7] com corpos com características geométricas especiais [7], mas, para muitos autores, a retificação a altas velocidades está na faixa entre 100 e 200 m/s e assim desta, altíssima velocidade de corte [6,7].

#### 4. MATERIAIS E MÉTODO

Para avaliarmos o comportamento térmico e mecânico dividimos os experimentos em duas partes, a saber, análise numérica e teste prático.

##### 4.1 Simulação numérica (MEF)



**Figura 3** – Corpo do rebolo em perspectiva dividido em malhas.

A simulação numérica é uma ferramenta que permite avaliações da tensão e deformação através do método de elementos finitos (MEF). O procedimento acontece por meio da divisão do corpo sólido em elementos (malhas) triangulares ou quadriláteros, assimétricos ou harmônicos, de 3, 4 ou 8 nós com objetivo de possibilitar as avaliações das tensões equivalentes de Von Misses (Fig.5), bem como, as deformações com o aumento da rotação [Fig.6]. O objetivo principal dessa simulação numérica é avaliar o comportamento da

tensão e da deformação de um corpo de liga alumínio submetido a altas velocidades. Dessa forma, vamos fazer a simulação numérica para o formato 3A1 (Fig.3) [5], a uma rotação de 40.000 rpm ou 160 m/s. Para tanto foi construído um modelo sólido, utilizando um programa de CAD (Solid-Work). Posteriormente, este foi importado para o ANSYS, realizando assim a simulação numérica com os parâmetros de entrada relacionados na tabela 1.

**Tabela 1**– Parâmetros de entrada para análise no ANSYS.

Parâmetros de entrada	Unidades	Valores
Módulo de elasticidade	Gpa	69
Coeficiente de Poisson		0,32
Peso específico	Kg/m <sup>3</sup>	2,71 x 10 <sup>3</sup>
Limite de escoamento	Mpa	255
Velocidade angular	Rpm	40.000

## 4.2 Teste Prático

Para avaliar o comportamento térmico e mecânico da deposição galvânica sobre o corpo de alumínio, testamos o rebolo B1-S-14F1- 400 - 7 - 3,5 -127 B64 GSS A [4,5]na operação de abertura de canais com retificadora plana de mergulho (Fig. 4) empregando o aço DIN Mn Cr S5 (tab. 3) temperado e beneficiado com 60 HRc a baixas e elevadas velocidades de corte.

### 4.2.1 Tipo de processo empregado



**Figura 4** - Operação de abertura de canal com retífica plana.

Empregou-se a operação de abertura de canal com o processo de retificação plana de mergulho exemplificado na figura 4. Esse tipo de processo exige solicitações térmicas e mecânicas bastante significativas sobre o rebolo, conforme figura 4.

### 4.2.2 Especificação do rebolo de CBN

O rebolo foi especificado visando atender as solicitações térmicas e mecânicas mais críticas possíveis tendo em vista os objetivos dos experimentos (Tab.2).

**Tabela 2** – Especificações do rebolo B64 GSS A [4].

Forma e Dimensões (mm)		Material do corpo	Peso (Kg)	Tipo de grão	Tamanho do grão (μm)	Ligante	Processo
Forma	14F1	Alumínio	2,920	Borazon (CBN)	64	Níquel	Galvânico (GS)
Diâmetro	400						
Espessura	7						
Raio	3,5						
Furo	127						

#### 4.2.3 Material da peça

Tabela 3 – Material da peça.

Material	Material n°	Micro-estrutura de fornecimento	Dureza
16 Mn Cr S 5	DIN 1.7139	Ferrita e perlita lamelar, sem bainita	60 ± 2 HRc.

#### 4.3 Fluido de refrigeração empregado

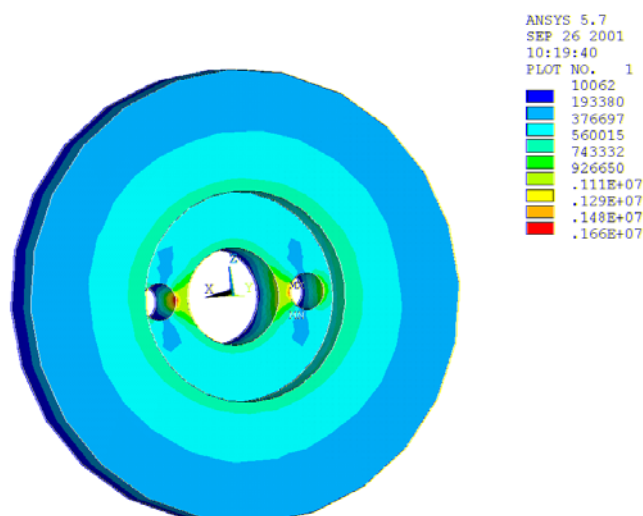
O fluido refrigerante empregado foi o ECOCUT HSG 915, do fabricante FUCHS. Esse é um óleo integral especificado para altas velocidades de retificação. É composto, basicamente, de óleo parafínico e aditivos especiais que reduzem substancialmente a formação de névoa, mesmo em altas velocidades de corte. Não contém metais pesados, cloro e enxofre. Segue padrões internacionais quanto à preocupação com o meio ambiente e com o operador da máquina e os envolvidos.

A característica principal desta operação é que a máquina é inteiramente fechada, e o sistema de refrigeração empregado possibilita uma vazão considerada bastante grande de 750 l/ min com uma baixa pressão do fluido refrigerante de 2 bar.

### 5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

São apresentados abaixo os resultados obtidos através dos experimentos de retificação, bem como, a análise numérica do comportamento do rebolo de CBN de corpo de alumínio.

#### 5.1 Análise de tensões



**Figura 5** – Tensões de Von Misses em MPa (vista frontal)



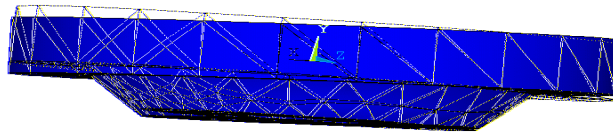
O critério de falha empregado foi o critério de Von Misses, que afirma que o corpo falha quando chega ao seu limite de escoamento. Os resultados mostrados na figura abaixo revelam que as maiores tensões estão nos furos de arraste. Os valores de tensão encontrados foram de 166 MPa para uma rotação do rebolo de 40.000 rpm ou uma velocidade tangencial do rebolo de 160 m/s. O limite de escoamento do alumínio é de 255 MPa (Tab.1) e as máximas tensões, nos furos de arraste, são da ordem de 166 MPa. Portanto, empregar-se-á um coeficiente de segurança de cerca de 1,50 (50%).

## 5.2 Resultados da expansão

Os valores da expansão são apresentados na tabela 4. Os deslocamentos nodais revelam quanto o rebolo expande, em coordenadas cilíndricas, quando acelerado à velocidade de 40.000 rpm (Fig.6). Conforme a tabela abaixo, o nó de nº 21 apresenta uma expansão no eixo X da ordem de 0,164 mm e os nós de nº 650 e 648 apresentaram uma retração na direção Y e Z da ordem de 0,197 mm e 0,427 mm, respectivamente.

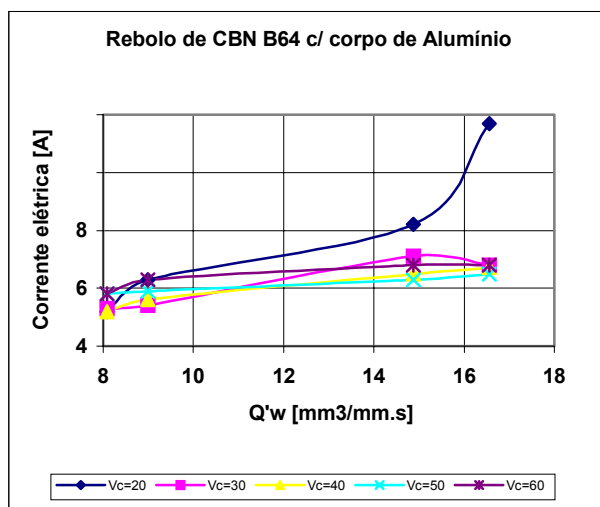
**Tabela 4** - Valores absolutos de máximos deslocamentos nodais

NÓ	21	650	648
Valores	UX = 0.16416E-03 m	UY = -0.19713E-03 m	UZ = -0.42785E-04 m



**Figura 6** – Corpo deformado em perspectiva (deslocamentos nodais)

## 5.3 A influência da veloc. de remoção específica sobre o consumo da corrente elétrica



ECOCUT HSG 915  
Pfl = 2bar  
Qfl = 750 l/min  
DIN 16 Mn Cr S5  
60 HRc  
B64 GSS A  
Vc (m/s)

**Figura 7** – Comportamento da Corrente elétrica com aumento da Veloc. de remoção.

Conforme podemos observar na figura 7 o maior consumo de corrente elétrica (11,70 A) foi atingido com a velocidade de remoção de  $16,56 \text{ mm}^3/\text{mm.s}$  à velocidade de corte de 20 m/s. Neste ponto o exame da peça com ataque de nital revelou queima de retificação a uma profundidade de 0,3 mm evidenciando a máxima condição de esforço térmico e mecânico. A análise da camada abrasiva não revelou macros-desgastes, mas sim, um micro-desgaste de aproximadamente 16  $\mu\text{m}$  após a retificação de 200 canais.

## 6. CONCLUSÕES

Os rebolos com corpo de alumínio trazem algumas vantagens ao processo de retificação, como a maior troca de calor na operação, possibilitando um corte mais “frio”, reduzindo o percentual do fluxo de calor sobre a peça, protegendo assim a camada limite e, portanto, a peça. Com os resultados obtidos, pode-se concluir que a deposição galvânica em corpo de alumínio resiste à baixas e elevadas velocidades de corte e que o corpo de alumínio traz grandes benefícios aos processos de retificação em geral possibilitando o aumento da velocidade de remoção, a redução da inércia e facilitando o manuseio do reboło pelo operador na montagem e desmontagem no fuso da máquina.

Para o emprego desses rebolos em altas e altíssimas velocidades de corte, é preciso otimizar o projeto do reboło em termos do perfil do corpo e avaliar, através de análise numérica e experimentos, os resultados da expansão do corpo de alumínio em relação à camada de superabrasivo depositada através do processo eletrolítico para evitar possíveis danos ao processo como um todo.

## 7. AGRADECIMENTOS

Aos amigos das empresas Fras-le e Weg e aos ex-colegas de trabalho da companhia Bosch e Saint-Gobain Abrasivos marca Winter e em especial ao Prof. Walter Weingaertner.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] KÖNIG, Wilfried. **Retificação, Brunimento e Lapidação**. Tradução de Weingaertner, Walter. Florianópolis: UFSC, 1980. 342p. Título original: Fertingungsverfahren Band 2: Schleifen, Honen, Läpen.
- [2] SEVERIANO, A. **Retificação de aços com Rebolos de CBN Ligado Galvanicamente sobre Corpo de Alumínio**. Florianópolis, 2002. 121f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina.
- [3] BERTALAN, C. **Retificação com Rebolos de Nitreto de Boro Cúbico em Máquinas-Ferramentas Convencionais**. Florianópolis, 1997. 209f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Pós-graduação em Engenharia Mecânica Universidade Federal de Santa Catarina.
- [4] GE SUPERABRASIVES, **Borazon CBN Guia de Seleção de Produtos**, Maio 1998. 15p.
- [5] HOLZ, R.; SAUER, J. **Schleifen mit Diamant und CBN**. Norderstedt: Winter-verlag, 1998. 172p.
- [6] JACKSON, M.; DAVIS, C.; HITCHINER, M.; MILLS, B. **High-speed grinding with CBN grinding wheels – applications and future technology**. Journal of Materials Technology, p.78-88, 2001.
- [7] KÖNIG, W., FERLEMANN, F. CBN. **Schleifscheiben für 500 m/s schnittgeschwindigkeit**. Industrial Diamond Review, p.242-251, Apr.1990.
- [8] VLACK, V.; HALL, L. **Princípio de Ciência dos Materiais**. Tradução de Luiz P. C. Ferrão, São Paulo, 1970. 427p.