

INFLUÊNCIA DO SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO DE FLUIDO DE CORTE NO PROCESSO DE RETIFICAÇÃO COM REBOLOS DE CBN

Walter Lindolfo Weingaertner, Dr.-Ing.
e-mail wlw@lmp.ufsc.br

Eduardo Weingärtner, Eng. Mec.
e-mail eduardow@lmp.ufsc.br

Sherline Wunder, Grad. Eng. Mec.
e-mail sherline@lmp.ufsc.br

Tel: 0xx(48)3319395

Laboratório de Mecânica de Precisão - LMP

Departamento de Engenharia Mecânica

Universidade Federal de Santa Catarina,

Campus Universitário – Trindade, Florianópolis/SC – Brasil, Caixa Postal 476 – EMC – 88010-970

Resumo. *O emprego de altas velocidades de corte no processo de retificação e a utilização de rebolos de CBN são tendências cada vez mais evidentes dentro do universo da usinagem. O processo de retificação caracteriza-se pela geração de elevado aporte térmico por atrito e deformações plásticas, onde a temperatura provocada pelo atrito aumenta com a velocidade de corte. O calor desenvolvido no processo é conduzido para a peça, para o grão abrasivo, para o ligante e para o meio, podendo acarretar danos metalúrgicos à peça e ser responsável por um desgaste prematuro do rebolo. Dentro deste contexto, o fluido de corte apresenta-se como um recurso indispensável para os processos abrasivos. A eficácia do fluido de corte depende, entre outros fatores, da pressão, da vazão, do projeto da tubeira e da velocidade de escoamento do fluido na saída da tubeira. Com vistas a melhores resultados no processo, obstáculos, como o colchão de ar que se forma em torno do rebolo e a afinidade entre o CBN e o vapor d'água superaquecido, devem ser superados pela correta aplicação do fluido de corte. Este trabalho faz uma avaliação da influência do sistema de alimentação de fluido de corte no processo de retificação. Para tanto são comparadas diferentes concepções de alimentação de fluido de corte e o resultado do trabalho é avaliado através da quantificação da relação de remoção G.*

Palavras-chave: *Retificação, Fluido de Corte, CBN*

1. INTRODUÇÃO

Segundo König⁽¹⁾, a retificação deve ser analisada em função das grandezas de entrada, características de processo e resultados de trabalho. As grandezas de entrada são divididas em grandezas do sistema (máquina-ferramenta, peça, rebolo, ferramenta de dressamento e sistema de alimentação) e variáveis (velocidades, condições de dressamento, pressão e vazão do fluido lubri-refrigerante) que interagem para proporcionar as características do processo. Este trabalho tem por objetivo avaliar a influência da aplicação do fluido lubri-refrigerante na retificação. Esta variável é determinante para se alcançar os resultados desejados, ao desempenhar as seguintes funções:

- Redução do atrito entre o grão abrasivo e a peça, bem como a diminuição do atrito entre ligante e peça pela formação de um filme de lubrificante estável;
- A refrigeração da superfície da peça e posterior transporte do calor gerado;
- Limpeza e lubrificação do rebolo.

No processo de retificação, o cavaco é formado quando o material da peça é deformado pelo grão abrasivo. Quando a tensão de cisalhamento do material é ultrapassada, o cavaco flui sobre a face do grão abrasivo. A figura 1 ilustra esquematicamente os mecanismos de penetração do gume no material e a formação do cavaco. Distinguem-se as três regiões: região de deformação elástica pura (I); seguida de deformação elástica e plástica com escoamento de material para as laterais e por baixo do grão abrasivo, sem formação de cavaco efetiva (II); e finalmente a região de deformação elástica e plástica com formação de cavaco (III), que inicia quando a espessura de usinagem, h_{cu} , atinge a profundidade de início de corte T_{μ} . A espessura efetiva de usinagem, $h_{cu\text{ eff}}$, é ligeiramente inferior à espessura de usinagem h_{cu} , devidos às deformações elásticas (König⁽¹⁾).

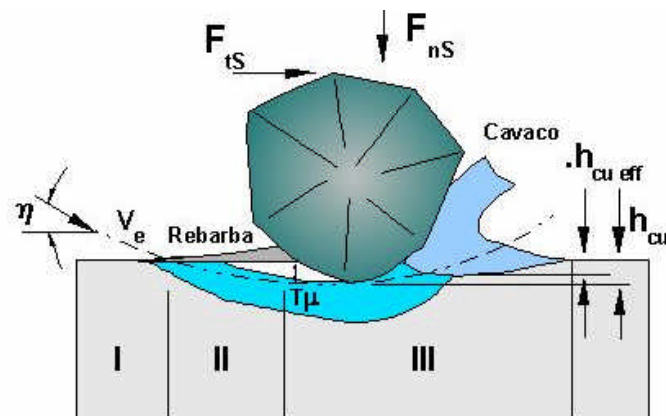


Figura 1. Representação esquemática do início de corte na retificação (König⁽²⁾).

O fluido lubri-refrigerante influencia na formação do cavaco na medida em que se forma um filme lubrificante entre o material da peça e o grão abrasivo. Quando o efeito lubrificante entre o grão abrasivo e o material da peça aumenta, ocorre um incremento nas deformações elasto-plásticas abaixo do gume do grão abrasivo (maiores penetrações de início de corte - T_{μ}). Devido a estas deformações, aumentam as diferenças entre as espessuras de usinagem e efetiva, resultando numa redução da rugosidade da superfície retificada (menores espessuras de corte efetivas - $h_{cu\text{ eff}}$) e redução das forças de atrito (König⁽¹⁾, Brinksmeier⁽²⁾). Todavia, a simples utilização de fluido lubri-refrigerante não garante a formação de um filme lubrificante adequado. Segundo Webster⁽³⁾, a eficácia da sua aplicação está diretamente relacionada ao posicionamento da tubeira de alimentação, à velocidade de aplicação, à pressão de aplicação, à vazão de fluido e ao projeto da tubeira.

2. INFLUÊNCIA DA ALIMENTAÇÃO DO FLUIDO LUBRI-REFRIGERANTE

A divisão e denominação dos diferentes sistemas de alimentação de fluidos lubri-refrigerantes não está bem definida na literatura. Segundo Beck⁽⁴⁾, os sistemas podem ser divididos em inundados e não-inundados, dependendo se a região de corte encontra-se inundada com fluido lubri-refrigerante, como no emprego da tubeira do tipo “mangueira segmentada”, ou não, como no emprego da mínima quantidade de fluido lubri-refrigerante (MQF). Uma outra possibilidade é a divisão de acordo com a convergência do jato do fluido lubri-refrigerante. Neste caso, denominam-se usualmente as tubeiras de jato livre, tubeiras pontuais, tubeiras pulverizadoras, entre outras. Uma terceira possibilidade é a divisão de acordo com a geometria particular das tubeiras. Neste caso, podem ser encontrados nomes como tubo esmagado, tubeira em forma de agulha e sapata. Na figura 2 são apresentadas algumas concepções de sistemas de alimentação de fluido lubri-refrigerante empregados no processo de retificação (Brinksmeier⁽²⁾).

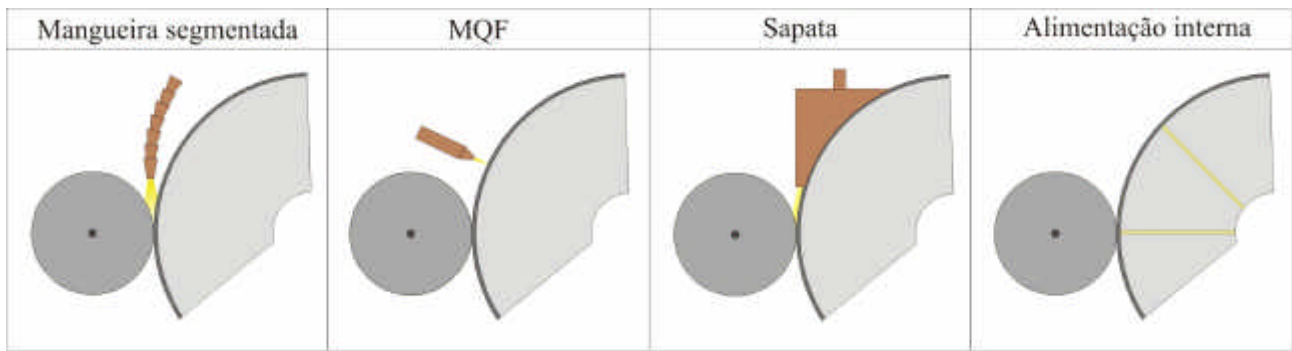


Figura 2. Tipos de alimentação de fluido lubri-refrigerante (Brinksmeier⁽²⁾).

A concepção de alimentação de fluido lubri-refrigerante mais empregada no processo de retificação utiliza como dispositivo de alimentação a denominada “tubeira de jato livre”. Com esta tubeira, o fluido lubri-refrigerante é direcionado para a região de corte através de um tubo, uma mangueira segmentada ou algo similar. Próximo à região de contato entre o rebolo e a peça, o fluido abandona o dispositivo de alimentação e uma parcela, no mínimo, chega à região de corte. Tubearias de jato livre pertencem ao grupo de tubearias de inundação (Beck⁽⁴⁾). Embora esta concepção de tubeira seja amplamente utilizada, a sua eficiência com relação à quantidade de fluido que atinge a região de corte é baixa. Uma das razões para isto está relacionada com a formação de um colchão de ar em torno do rebolo. Pelo atrito, o ar adere à superfície do rebolo e é acelerado constantemente pela ferramenta rotativa. Com isto, forma-se um fluxo de ar em torno do rebolo, com direção contrária à direção da alimentação do fluido lubri-refrigerante, criando assim uma resistência à sua aplicação. Para minimizar os efeitos do colchão de ar, aconselha-se a utilização de uma velocidade de saída do fluido da tubeira no mínimo próxima a velocidade periférica do rebolo (Brinksmeier⁽²⁾). Todavia, este método leva a um aumento no consumo de energia além de ser necessário uma maior vazão de fluido. Uma alternativa para reduzir os efeitos do colchão de ar e com isto a necessidade de elevadas velocidades de aplicação do fluido lubri-refrigerante é o emprego de chapas de desvio de ar (Brinksmeier⁽²⁾, Beck⁽⁴⁾). Essas chapas devem ser posicionadas o mais próximo possível do rebolo para que tenham um resultado efetivo e precisam ser ajustadas constantemente devido à redução do diâmetro do rebolo que desgasta com a remoção de material da peça.

Uma possibilidade de se combinar elementos de desvios do ar com uma alimentação efetiva de fluido lubri-refrigerante é a utilização de sapatas (Brinksmeier⁽²⁾, Beck⁽⁴⁾, Heinzel⁽⁵⁾, Wittmann⁽⁶⁾). A figura 3 representa esquematicamente o princípio de atuação da sapata no processo de alimentação de fluido lubri-refrigerante para a região de contato entre o rebolo e a peça.

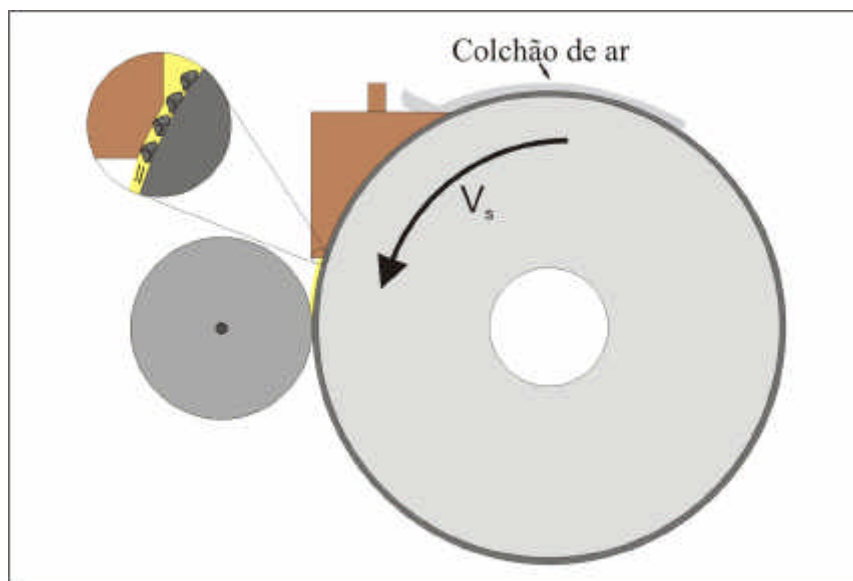


Figura 3. Sapata de lubri-refrigeração empregada no processo de retificação.

A sapata é ajustada sobre o perfil do rebolo por retificação, através de um sistema de posicionamento, até que a folga entre a sapata e o rebolo se restrinja aos espaços vazios entre os grãos. Desta forma, além de atuar como barreira contra o colchão de ar, a sapata também direciona o fluido lubri-refrigerante para a região de retificação.

De acordo com a maioria dos autores (Brinksmeier⁽²⁾, Beck⁽⁴⁾, Wittmann⁽⁷⁾, Klocke⁽⁸⁾), uma das vantagens da utilização de sapatas de lubri-refrigeração encontra-se na visível redução do volume de fluido necessário para o processo. Em comparação com as tubeiras de jato livre, a utilização das sapatas permite uma redução de até 90% do volume de fluido de corte necessário para garantir a qualidade desejada no processo de retificação. Além disto, o seu emprego leva a uma redução no desgaste da ferramenta e uma menor influência térmica na superfície da peça.

A figura 4 apresenta alguns resultados de desgaste radial do rebolo e de rugosidade da superfície retificada, obtidos por Klocke⁽⁸⁾ na realização de ensaios comparativos para diferentes concepções de alimentação de fluido lubri-refrigerante no processo de retificação. O emprego da sapata proporcionou melhores resultados em comparação com as tubeiras de jato livre, tanto para o desgaste radial do rebolo, como para a rugosidade da superfície. Além disto, é evidente a menor quantidade de fluido empregado no processo.

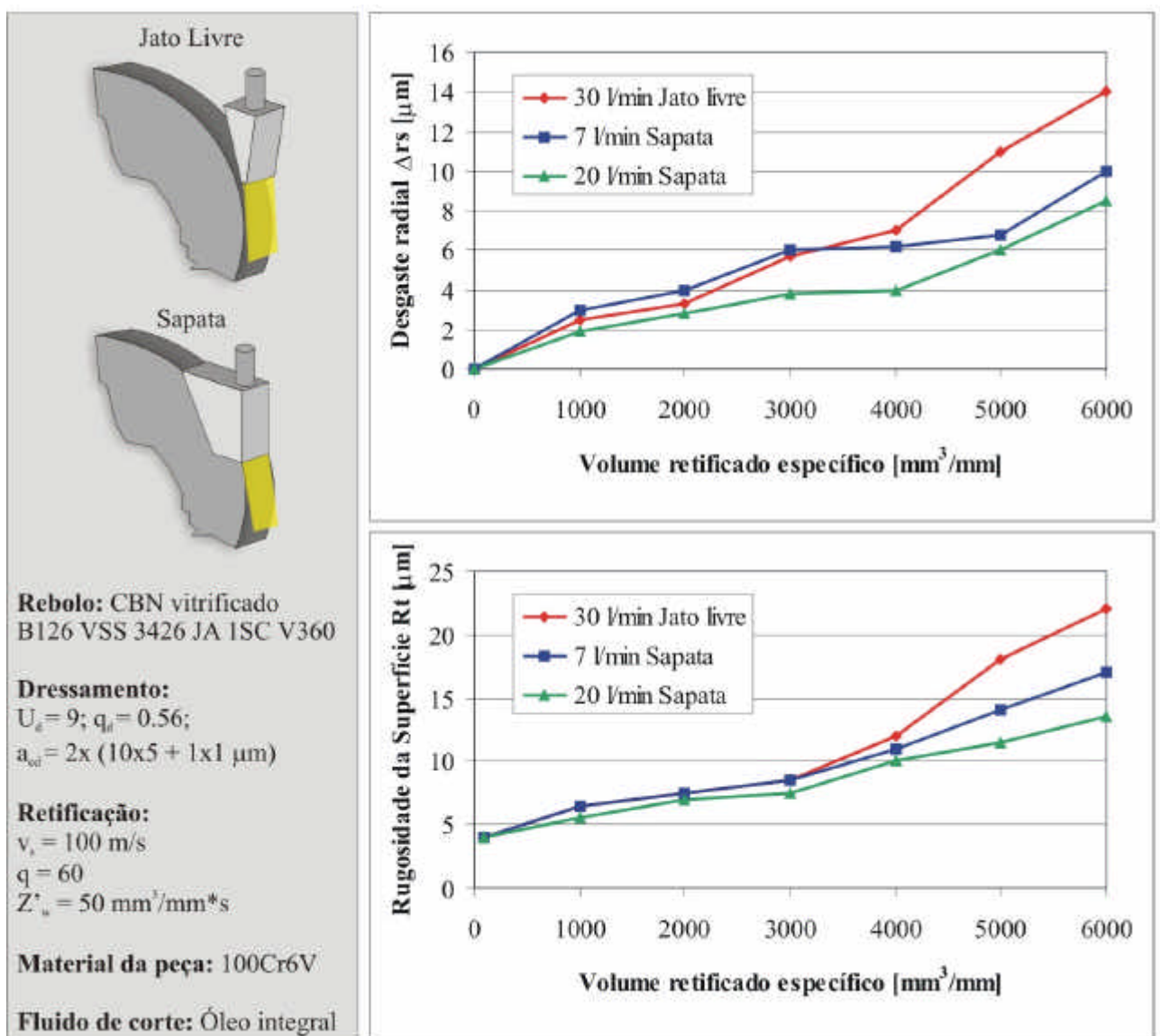


Figura 4. Resultados comparativos para o emprego de tubeiras do tipo sapata e jato livre (Klocke⁽⁸⁾).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Com o objetivo de avaliar a influência do sistema de alimentação de fluido lubri-refrigerante no processo de retificação, foram realizados ensaios de retificação cilíndrica externa em uma retificadora cilíndrica comandada numericamente, modelo G600 Pratika Flexa L, fabricada pela Zema Zselics Ltda. O material utilizado nestes ensaios foi cedido pela Fundição Tupy. Trata-se de um ferro fundido nodular perlítico, com designação GGG70 segundo a norma DIN 1693. Os corpos de prova foram confeccionados no formato cilíndrico com dimensões de 100 mm de diâmetro por 100 mm de comprimento. O desgaste do rebolo foi avaliado entre mergulhos consecutivos do rebolo para intervalos de 5400 mm³/mm.

Nos ensaios utilizou-se uma emulsão (dispersão de óleo em água) com especificação ECOCOOL MH 6000, provido pela Fuchs do Brasil. Segundo as especificações, este fluido de corte é formulado sem óleo mineral e possui aditivos especiais que lhe confere ação de lubricidade, extrema pressão (EP), além de uma excelente ação anticorrosiva. Foi empregada uma emulsão de 5% de óleo em água, quantidade que é aconselhada pelo fabricante.

A ferramenta utilizada nos ensaios foi um rebolo de Nitreto de Boro Cúbico (CBN) com ligante resinóide fornecido para pesquisa pela Winter do Brasil. A especificação completa de uso comercial deste rebolo é: 1A1 – 300 – 15 – 3 – 127 – B126 KSS10 N B V120.

Para perfilar o rebolo foi utilizado como ferramenta um rolo diamantado com diâmetro de 100 mm, com ligante metálico e corpo de aço, fornecido pela Winter do Brasil. A especificação completa de uso comercial do rolo diamantado é: 1A1 – 100 – 10 – 3 – 20 – D301 BZ 469 E C100.

Para a afiação do rebolo de CBN com ligante resinóide, foi utilizado o método de afiação com blocos de óxido de alumínio (Al₂O₃), que são mergulhados contra o rebolo, e desta forma, removem parte do ligante e deixam o rebolo afiado, em condições de retificar (Bertalan⁽⁹⁾ e Morales⁽¹⁰⁾). Foram utilizados blocos com especificação “Pedra Winter nº 2”, fornecidos pela Winter do Brasil.

Para a realização dos ensaios foram projetados e fabricados uma tubeira do tipo sapata e um sistema de posicionamento da tubeira. O sistema de posicionamento permite o deslocamento da tubeira no sentido vertical. Assim, é possível retificar a tubeira contra o rebolo e ajustar constantemente a sua posição. A figura 5 apresenta um detalhe da sapata montada sobre o rebolo e do sistema de posicionamento.

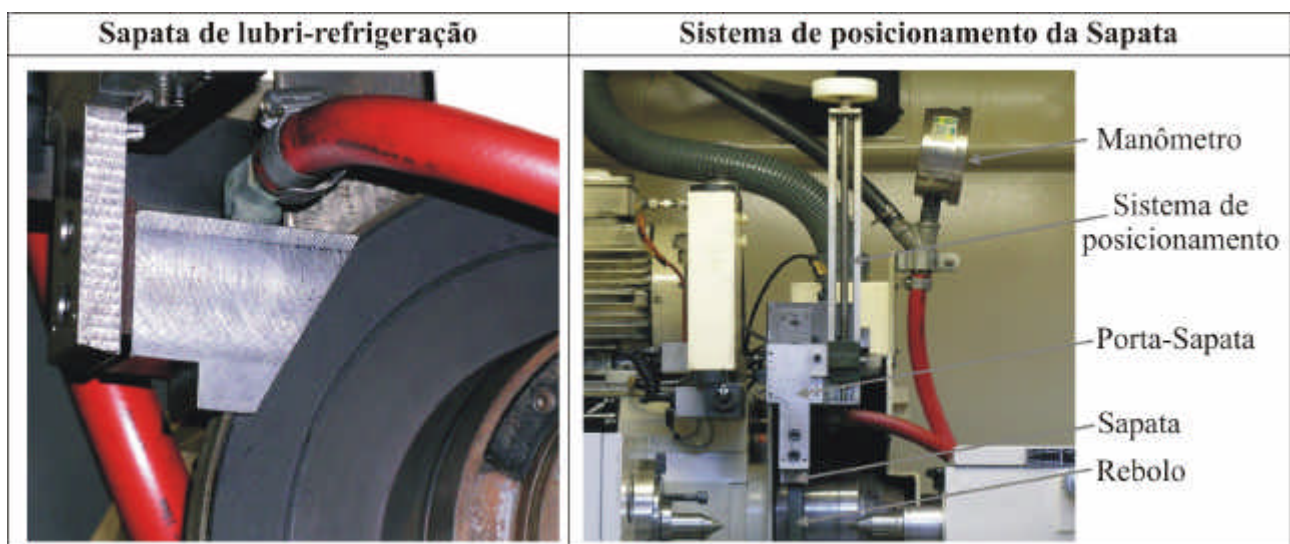


Figura 5. Sapata ajustada sobre o rebolo e sistema de posicionamento.

O resultado do processo de retificação foi avaliado com base no desgaste do rebolo, i.e., através da quantificação da relação de remoção G , definida pela razão entre o volume de material removido da peça e o volume desgastado do rebolo ($G = V_s/V_w$). A metodologia empregada é a mesma utilizada nos trabalhos de Bertalan⁽⁹⁾ e Morales⁽¹⁰⁾ que consiste em se utilizar somente uma

parte da largura do rebolo para remover material da peça, e deixar a outra parte para referência. Após promover a remoção de uma determinada quantidade de material, procede-se a cópia do perfil do rebolo na superfície de uma peça. Com o emprego de um rugosímetro do fabricante Feinpruef GmbH, do modelo Perthometer S8P, obtém-se o perfil de desgaste do rebolo que, após ser digitalizado, pode ser quantificado com o auxílio do software AutoCAD. Para tanto, é necessário traçar o perfil do desgaste no software para possibilitar a integração da curva. Assim, obtém-se o volume desgastado do rebolo. A figura 6 apresenta as medições finais realizadas para os diferentes ensaios.



Figura 6. Medição do desgaste com o auxílio do rugosímetro e do AutoCAD.

4. ENSAIOS

Foram realizados ensaios para três diferentes condições de pressão de alimentação e vazão do fluido. Os parâmetros de perfilamento e afiação do rebolo, bem como do processo de retificação foram os mesmos para todos os ensaios.

Para a realização do primeiro ensaio foi empregado o sistema de alimentação original da retificadora CNC ZEMA, que consiste em uma bomba centrífuga e quatro tubeiras com o formato de “mangueira segmentada”. A figura 7 apresenta os parâmetros utilizados bem como uma foto que ilustra o andamento do primeiro ensaio.

Rebolo: CBN - ligante resinóide
B126 KSS10 N B V120

Retificação:
 $v_s = 60 \text{ m/s}$
 $q = 100$
 $Z'_w = 10 \text{ mm}^3/\text{mm} \cdot \text{s}$

Material da peça:
Ferro Fundido Nodular GGG70

Fluido de corte:
Emulsão de óleo em água - 5%

Tipo de tubeira de alimentação:
Mangueira segmentada - "Jato Livre"

Vazão: 60 l/min

Pressão: 0,1 bar

Figura 7. Primeiro ensaio (Tubeira tipo “Jato Livre”).

Para a realização do segundo ensaio foi empregado um novo sistema de alimentação, que se diferencia do primeiro, pelo emprego de uma tubeira do tipo sapata. A figura 8 apresenta os parâmetros utilizados bem como uma foto que ilustra o andamento do segundo ensaio.

Rebolo: CBN com ligante resinóide B126 KSS10 N B V120

Retificação:
 $v_s = 60 \text{ m/s}$
 $q = 100$
 $Z'_w = 10 \text{ mm}^3/\text{mm} \cdot \text{s}$

Material da peça:
 Ferro Fundido Nodular GGG70

Fluido de corte:
 Emulsão de óleo em água - 5%

Tipo de tubeira de alimentação:
 Sapata

Vazão: 15 l/min

Pressão: 1,1 bar




Figura 8. Segundo ensaio (Tubeira tipo Sapata).

Para a realização do terceiro ensaio foram empregadas uma tubeira do tipo sapata e uma nova bomba (de múltiplos estágios) que permite a alimentação do fluido lubri-refrigerante a pressões maiores que a máxima pressão dada pela bomba centrífuga. A figura 9 apresenta os parâmetros utilizados bem como uma foto que ilustra o andamento do terceiro ensaio.

Rebolo: CBN com ligante resinóide B126 KSS10 N B V120

Retificação:
 $v_s = 60 \text{ m/s}$
 $q = 100$
 $Z'_w = 10 \text{ mm}^3/\text{mm} \cdot \text{s}$

Material da peça:
 Ferro Fundido Nodular GGG70

Fluido de corte:
 Emulsão de óleo em água - 5%

Tipo de tubeira de alimentação:
 Sapata

Vazão: 40 l/min

Pressão: 9,7 bar




Figura 9. Terceiro ensaio (Tubeira tipo Sapata).

5. RESULTADOS

O desgaste radial, Δ_{rs} , verificado no rebolo para a condição utilizada no terceiro ensaio (com o emprego da sapata e pressão de 9,7 bar) foi aproximadamente 60% menor que o desgaste verificado para a condição empregada no primeiro ensaio (com o utilização do sistema original da retificadora ZEMA). Da mesma forma, o desgaste para a condição empregada no terceiro ensaio reduziu em aproximadamente 30% em comparação com a condição empregada no segundo ensaio (com o

emprego da sapata e pressão de 1,1 bar). Os resultados de desgaste radial e as correspondentes relações de remoção G são apresentados na figura 10.

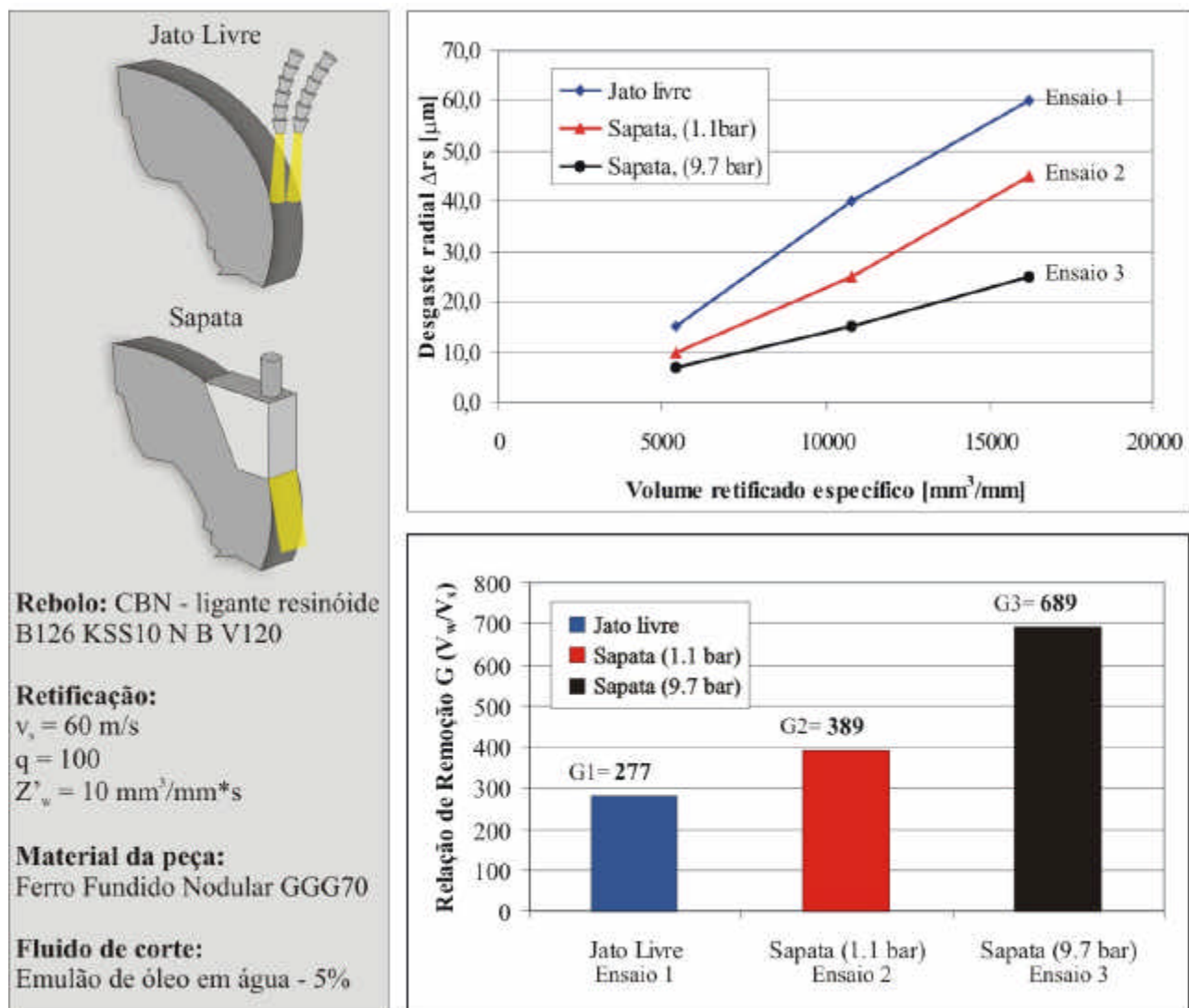


Figura 10. Resultados dos ensaios comparativos.

A utilização da sapata proporcionou uma visível redução na quantidade de faíscas geradas no processo de remoção de material, como pode ser observado nas figuras 7, 8 e 9. Isto evidencia a eficiência da sapata como “elemento de desvio do colchão de ar”.

Outro ponto importante relaciona-se a quantidade de fluido lubri-refrigerante necessário no processo. Comparando-se os resultados obtidos para os dois primeiros ensaios ($G1 = 277$ e $G2 = 389$), obteve-se uma melhor condição de desgaste neste último, mesmo com a redução de 75% na quantidade de fluido lubri-refrigerante utilizado neste ensaio. Isto comprova a tese apresentada por Wittmann⁽⁷⁾ em seu trabalho, que se resume na seguinte expressão: “*Viel hilft nicht viel*”, i.e., “muito não ajuda muito”, se referindo a quantidade de fluido lubri-refrigerante necessário para o processo de retificação.

6. CONCLUSÕES

No processo de retificação, a influência das variáveis de entrada como velocidades, taxas de remoção de material, tipo de ferramenta abrasiva e condições de dressamento é determinante para a obtenção de um resultado de trabalho adequado. Outra grandeza que deve ser levada em consideração está relacionada ao sistema de alimentação de fluido lubri-refrigerante. Os resultados

obtidos neste trabalho demonstram e confirmam a importância que se deve dar para esta variável, visto que a concepção de aplicação do fluido lubri-refrigerante influenciou decisivamente no resultado do trabalho. O emprego da sapata como dispositivo para conter o efeito causado pelo colchão de ar na aplicação do fluido e como direcionador do fluido para a região de corte mostrou-se adequado. Com isto, as custas de pequenas modificações na concepção dos elementos que compõem o sistema de alimentação, foi possível obter vantagens econômicas e ecológicas com uma redução no desgaste radial do rebolo e na quantidade de fluido lubri-refrigerante necessário para o processo.

Em contrapartida, uma desvantagem na utilização da sapata como sistema de alimentação está na necessidade de ajuste freqüente da sua posição para compensar a redução diametral do rebolo que desgasta ao remover material da peça. Mesmo assim, o investimento necessário para o desenvolvimento de um sistema automatizado de ajuste da sapata pode ser compensado através das vantagens que este dispositivo traz para o resultado final do processo de retificação.

7. AGRADECIMENTOS

À Winter do Brasil, pelo fornecimento das ferramentas utilizados nos ensaios.

À Fuchs do Brasil, pelo fornecimento do fluido lubri-refrigerante utilizados nos ensaios.

À Fundação Tupy, pelo fornecimento do material para a confecção dos corpos de prova.

À CAPES, pelo apoio financeiro através da concessão de bolsa de estudos.

Ao LMP - Laboratório de Mecânica de Precisão da Universidade Federal de Santa Catarina, por disponibilizar a infra-estrutura necessária para a realização dos ensaios.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. KÖNIG, W. **Retificação, brunimento e lapidação**. Tradução de Walter Weingaertner,. Florianópolis: UFSC, 1980. 342p. Título original: Fertigungsverfahren Band 2: Schleifen, Honen, Läpen.
2. BRINKSMEIER, E.; HEINZEL, C.; WITTMANN, M. Friction, Cooling and Lubrication in Grinding. **Annals of the CIRP**, v. 48, n. 2, p. 581-597, 1999.
3. WEBSTER, J.A.; CUI, C.; MINDEK, R.B.; LINDSAY, R.P. Grinding Fluid Application System Design. **Annals of the CIRP**, v.44, n. 1, p. 333-338, 1995.
4. BECK, T. **Kühlschmierstoffeinsatz beim Schleifen mit CBN**. Aachen, 2002. 150 p. Dissertation (Doutorado em Engenharia), RWTH-Aachen, 2002.
5. HEIZEL, C. **Optimale kühl schmierung verbessert den Schleifprozess**. Maschinenmarkt ½, p. 22 – 26, 2001.
6. WITTMANN, M.; MEYER, L.; WALTER, A.; HEINZEL, C. **Approaches to Improve Grinding Fluid Application**. Grinding and Abrasives Magazine, Ago/Set. 2002, p. 16-22.
7. WITTMANN, M. **Gut geschmiert ist halb geschliffen** M&T Metallhandwerk, p. 39 – 41, Nov. 2000.
8. KLOCKE, F; BECK, T. **Technologie des CBN-Hochleistungsschleifens mit reduzierten Kühlschmierstoffvolumenstrom**. Schleiftechnisches Kolloquium Aachen, p. 1-14, 2000.
9. BERTALAN, C. **Retificação com rebolos de nitreto de boro cúbico em máquinas-ferramenta convencionais**. 1997. 209f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
10. MORALES, D. J. T. **Análise e monitoramento da retificação do ferro fundido nodular com rebolos de nitreto de boro cúbico (CBN)**. 2002. 150f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

THE INFLUENCE OF CUTTING FLUID APPLICATION METHODS ON THE GRINDING PROCESS WITH CBN GRINDING WHEELS

Walter Lindolfo Weingaertner, Dr.-Ing.

e-mail wlw@lmp.ufsc.br

Eduardo Weingärtner, Eng. Mec.

e-mail eduardow@lmp.ufsc.br

Sherline Wunder, Grad. Eng. Mec.

e-mail sherline@lmp.ufsc.br

Tel: 0xx(48)3319395

Laboratório de Mecânica de Precisão - LMP

Departamento de Engenharia Mecânica

Universidade Federal de Santa Catarina,

Campus Universitário – Trindade, Florianópolis/SC – Brasil, Caixa Postal 476 – EMC – 88010-970

Abstract. *The application of high speed grinding and the utilization of CBN grinding wheels are trends in the machining universe. The characteristics of the grinding process are the high generation of heat and plastic deformation, which temperature increases proportionally to the wheel speed. The heat generated during cutting flows to the workpiece, abrasive grain, grinding wheel bond, environment, and can lead to a high risk of thermal damage to the workpiece surface as well as wear of the grinding wheel. In this context, cooling lubrication plays a decisive role during the abrasive process. The efficiency of the cutting fluid application depends not only on coolant type and composition but also on supply pressure and flow rate, nozzle design and the velocity of delivery. In order to improve grinding results, problems such as the boundary layer of air around the wheel periphery and the affinity of CBN to superheated steam have to be overcome by the correct application of cutting fluids. This paper aims to show the influence of the cutting fluid application methods on the grinding process. Results from experiments with different conditions of fluid delivery are presented.*

Keywords: *Grinding, Cutting Fluid, CBN, Shoe Nozzle.*