



5^o COBEF
Congresso Brasileiro de
Engenharia de Fabricação



COMPROMETIDA COM A PROMOÇÃO DO DESENVOLVIMENTO
DA ENGENHARIA E DAS CIÊNCIAS MECÂNICAS

V CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO
14 a 17 de abril de 2009 - Belo Horizonte - Minas Gerais - Brasil

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO FLUXO DE FLUIDO LUBRI- REFRIGERANTE EM TUBEIRAS DO TIPO SAPATA PARA A RETIFICAÇÃO EM ALTA VELOCIDADE

Jânio Rodrigues Lopes, jlopes@cefetsc.edu.br¹
Walter Lindolfo Weingaertner, wlw@lmp.ufsc.br²

¹Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina, Av. Mauro Ramos, 950, Centro, Florianópolis, SC. Cep 88020-300 Fone: 48 3221 0533 / 3221 0500 Fax: 48 3224 0727

²Departamento de Engenharia Mecânica Universidade Federal de Santa Catarina Campus Universitário - Trindade - EMC Caixa Postal: 476 - Florianópolis - SC - Brasil CEP: 88.010-970 Fone: +55 (0) 48 3331 9395 / 234 5277 Fax: +55 (0) 48 3234 1519 E-mail: lmp@lmp.ufsc.

Resumo: No processo de retificação o aumento da velocidade de corte leva ao aumento da quantidade de calor gerado no processo. O fluido refrigerante apresenta-se como um recurso indispensável para evitar a ocorrência de danos térmicos nas peças e desgaste prematuro do rebolo. Uma alternativa interessante para melhorar a aplicação do fluido refrigerante na retificação é a utilização de tubeiras tipo sapata. Com este tipo de tubeira é possível aumentar o efeito de arraste do fluido pelo rebolo, ao mesmo tempo em que é minimizado o efeito da camada de ar criada com a rotação do rebolo. Um projeto eficiente de sapata ainda possibilita aumentar a velocidade de saída do fluido junto ao rebolo, sem aumentar significativamente a potência necessária para que uma maior quantidade de fluido atinja a região de corte. Com o objetivo de melhorar a capacidade de refrigeração obtida com as tubeiras tipo sapata, foram projetadas quatro tipos de tubeiras a serem analisadas. Uma tubeira tipo sapata de canal simples, uma tubeira tipo sapata com canais retos, uma tubeira tipo sapata com canais côncavos e uma tubeira tipo sapata com canais convexos. Para possibilitar a visualização do escoamento do fluido dentro das tubeiras, elas foram construídas em acrílico e água foi utilizada como fluido. Como rebolo foi utilizado um disco de alumínio, revestido com uma camada de abrasivo. Foram realizados ensaios de consumo de energia e escoamento do fluido no interior das tubeiras. A energia consumida foi determinada medindo a corrente consumida no processo, o escoamento do fluido dentro da tubeira foi analisado com base nos filmes realizados com uma filmadora de alta velocidade. Nos ensaios foram empregadas velocidades periféricas do rebolo entre 60 e 120 m/s, duas topografias de rebolo, três vazões de fluido e abertura da fenda entre rebolo e tubeira variável de zero a 2,0 mm. Os resultados mostram que a energia consumida em todos os ensaios se manteve abaixo de 2 kW. O escoamento do fluido dentro da tubeira sofre uma influência significativa com a variação da abertura da fenda entre tubeira e rebolo. A tubeira que apresentou o menor consumo de potência foi a tubeira simples. A tubeira que apresentou a menor perturbação no escoamento do fluido foi a tubeira tipo sapata com canais retos.

Palavras-chave: Retificação; Tubeiras Tipo Sapata; Escoamento de Fluido

1. INTRODUÇÃO

A retificação é um processo amplamente empregado na indústria metal-mecânica, tanto na obtenção de precisão dimensional, como qualidade superficial. Geralmente é o processo final na fabricação de peças, portanto, se não for devidamente executada, representará perdas de alto custo no processo produtivo.

O processo de retificação ocorre por meio de interações entre os grãos abrasivos do rebolo e a peça a ser retificada, sendo virtualmente, toda esta energia transformada em calor, o qual é concentrado dentro da região de corte. As elevadas temperaturas podem produzir vários tipos de danos térmicos à peça, como: queima da superfície, mudanças micro-estruturais, aparecimento de tensões residuais, e até a deterioração da qualidade final da peça (Malkin, 1989).

O fluido de corte, também chamado de fluido lubri-refrigerante apresenta-se como um recurso indispensável para o controle da temperatura no processo de retificação. A eficácia do fluido lubri-refrigerante na retificação de alta velocidade depende, entre outros fatores, do tipo de fluido, da pressão e vazão de alimentação, do projeto da tubeira e da velocidade de escoamento do fluido na saída da tubeira.

A tubeira tipo sapata com elementos condutores melhora o escoamento do fluido, permitindo o preenchimento dos espaços dos poros do rebolo, sendo a alimentação do fluido refrigerante realizada sem praticamente nenhuma turbulência (Brinksmeier, 2000). As sapatas sem condutores mostraram um ganho econômico considerável na retificação de ferro fundido nodular em elevada velocidade de corte empregando rebolos de CBN e emulsões de óleo em água (Weingärtner, 2005).

As tubeiras analisadas foram desenvolvidas com canais condutores para permitir o fornecimento de fluido lubri-refrigerante a região de contato rebolo/peça eliminando o colchão de ar que é arrastado pelo rebolo.

A avaliação inicial das tubeiras foi realizada através de simulação numérica e essas simulações foram comparadas aos resultados experimentais obtidos a partir da filmagem do escoamento por uma câmera filmadora de alta velocidade.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é analisar o comportamento do fluxo de fluido lubri-refrigerante em tubeiras tipo sapata com canais de seção constante, para retificação de alta velocidade (60 a 120 m/s), que diferente dos dispositivos já desenvolvidos e testados, não possuem mudanças bruscas de seção interna ao longo do percurso do fluido e a área interna dos canais da sapata não variam ao longo de seu comprimento o que garante um escoamento do fluido de forma a diminuir o escoamento turbulento. A geometria das novas tubeiras não apresenta cantos vivos, possibilita o fechamento lateral do rebolo, e evita a entrada de ar. Possui ainda pequeno comprimento de contato com o rebolo, pequena distância da peça e folga ajustável. Essa nova concepção possibilita uma eliminação quase que total dos problemas característicos do processo. Determinar a potência necessária para realizar o fornecimento de fluido a região de corte. Simular o escoamento do fluido dentro das tubeiras e caracterizar o comportamento do escoamento do fluido no interior das tubeiras.

3. REVISÃO TEÓRICA

Na retificação, a alta velocidade (de 100 a 200m/s), uma grande quantidade de fluido são requeridos para igualar a velocidade do fluido à velocidade periférica do rebolo.

Os valores de pressão requeridos podem facilmente exceder 40 bar (Webster, 1999), levando as limitações técnicas e financeiras para a instalação de bombas com elevada pressão e vazão, pois aumentam os custos envolvidos e os esforços requeridos em filtração e resfriamento do fluido.

A forma de aplicação de fluido de corte que não utiliza o rebolo para bombeamento do fluido, gerará altas temperaturas na região de contato rebolo/peça, a ponto de causar têmpera na superfície da peça logo após o contato com o rebolo (Webster, 1999).

Segundo Webster et al (1995), um bico otimizado para retificar pequenas larguras de retificação tem o formato circular com paredes internas côncavas, as quais garantem um jato laminar, Fig. (1).

Este bocal, em decorrência da diminuição gradual do diâmetro interno, minimiza a ocorrência de quedas de pressão localizadas e turbulências no escoamento de fluido de corte.

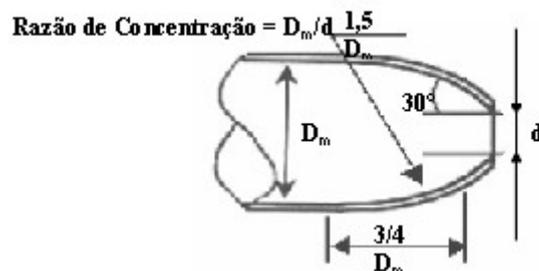


Figura 1. Bico arredondado (Webster et al., 1995).

Na tentativa de fazer com que a direção dos fluidos seja influenciada pelos bicos, o IWT – Institut Für Werkstofftechnik (Instituto de Técnicas de Materiais da cidade de Bremen, na Alemanha) desenvolveu bicos ejetores com elementos condutores Fig. (2). Esses elementos condutores internos servem para melhorar o escoamento dentro dos bicos e para melhorar o preenchimento do volume de poros do rebolo. Uma geometria inadequada de um bico ejetor do tipo sapata leva a condições desfavoráveis de escoamento, como refluxos, separações do fluido, formação de espuma e turbulências, bem como influência negativamente a ação lubri-refrigerante na retificação (Brinksmeier et al, 2001). Brinksmeier analisou quatro bicos ejetores com aletas, o bico com aletas tangenciais apresentou os melhores resultados de escoamento, sem turbulências ou separações.

Weingärtner, 2005, empregou um sistema de adução de fluido de corte com jato livre e com tubeira tipo sapata sem elementos condutores. O objetivo principal deste trabalho foi avaliar a influência do sistema de alimentação de fluido de corte sobre o desgaste do rebolo.

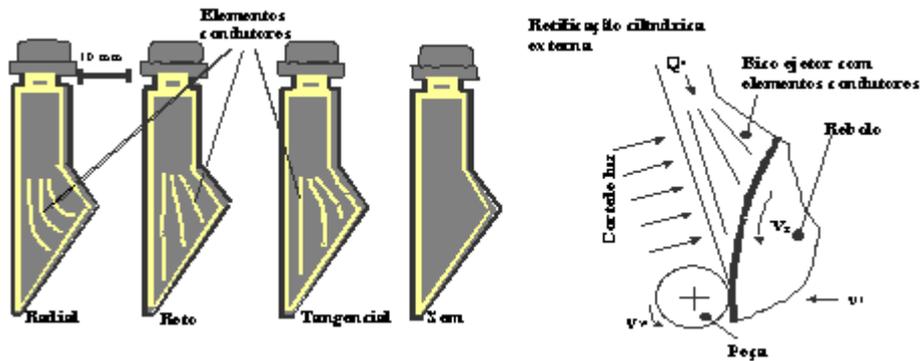


Figura 2. Geometria dos bicos ejetores do tipo sapata (Brinksmeier et al, 2001).

A Figura (3) mostra o aumento da relação de remoção G na retificação com rebolos CBN de ligante vitrificado como função do sistema de adução de fluido de corte empregado (Weingärtner, 2005).

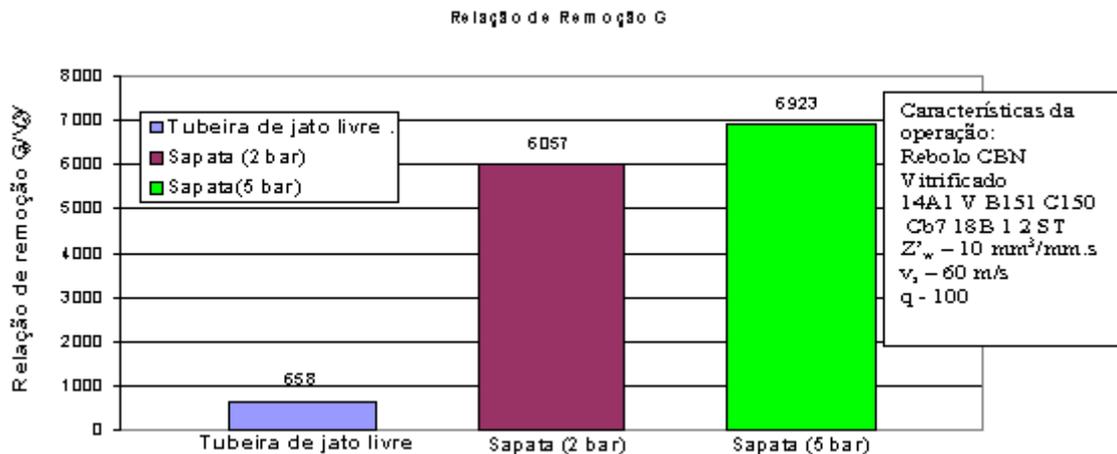


Figura 3. Relação de remoção G como função do sistema de lubri-refrigeração na retificação com rebolo de CBN com ligante vitrificado (Weingärtner, 2005).

4. MATERIAIS, MÉTODOS E EQUIPAMENTOS

Para idealizar a concepção das tubeiras tipo sapata, após estudos preliminares, as mesmas foram executadas em poliuretano com o objetivo de verificar a viabilidade de execução das geometrias idealizadas. Em um passo seguinte, para poder executar as filmagens do escoamento do fluido no interior da tubeira, as mesmas foram fabricadas em acrílico.

Os experimentos foram realizados na retificadora cilíndrica universal, marca MELLO, modelo UNS – 2. A principal adaptação realizada nesta retificadora foi a instalação do inversor de frequência WEG, modelo CFW-04 que possibilita a variação contínua da rotação do rebolo. Para uma velocidade periférica de zero até 120 m/s.

Na documentação do escoamento do fluido nas tubeiras foi empregada uma câmara CCD de aquisição das imagens, com taxa de aquisição de 100 fps (completo) ou 4000 fps (parcial), o que permite avaliar visualmente o comportamento do escoamento do fluido.

Para permitir as velocidades periféricas de 120 m/s foram usinadas ranhuras cauda de andorinha na periferia do disco de alumínio e aplicada uma camada de abrasivo de óxido de alumínio com granulometria 60 Mash com ligante resinoide. Este rebolo foi perfilado na forma de um rebolo cilíndrico reto e dressado com diferentes graus de recobrimento.



5^o COBEF
Congresso Brasileiro de
Engenharia de Fabricação

5. APRESENTAÇÃO E DISCUSÃO DOS RESULTADOS

No projeto e fabricação das tubeiras buscou-se minimizar os problemas de turbulência pela variação contínua da secção inicial circular para secção retangular de tal forma que a área das secções transversais não varie ao longo de todo o comprimento da tubeira Fig. (4). A geometria interna das tubeiras não apresenta cantos vivos, e prevê um recobrimento de uma secção da circunferência e das duas laterais do rebolo. A abertura da fenda entre o rebolo e o bocal da tubeira era ajustada por retificação da tubeira contra o próprio rebolo.

Tubeira A tipo sapata de canal simples. Projetada para comparar com as tubeiras com escoamento de fluido guiados, a tubeira A tipo sapata de canal simples Fig. (4), tem concepção simples e reduz o efeito prejudicial do colchão de ar no fornecimento de fluido, ao mesmo tempo que direciona o fluido para a região de corte.

Tubeira B tipo sapata reta com 3 canais. Essa tubeira tem concepção diferente do mostrado anteriormente. Neste, os canais são retos. O canal c1 e o canal c2, a direita da tubeira B, Fig. (4), têm a função de desobstruir o rebolo e eliminar o colchão de ar que se forma em torno do rebolo na retificação de alta velocidade. O canal c3, a esquerda, fornece o fluido a região de trabalho livre de turbulências geradas pelo rebolo e pelo colchão de ar. A vantagem desse tipo de concepção é a facilidade de sua fabricação. A área dentro dos canais que levam o fluido para a região de contato se mantém constante ao longo de todo o seu comprimento. A camada de ar que se forma pelo giro do rebolo é afastada pela tubeira.

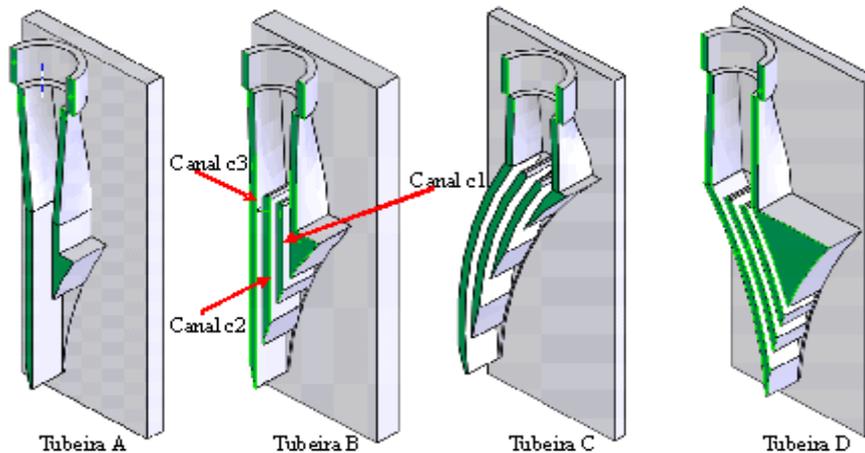


Figura 4. Vista em corte total da tubeira A de canal simples, tubeira B reta com 3 canais, tubeira C côncava com 3 canais e tubeira D convexa com 3 canais.

Tubeira C tipo sapata côncava com 3 canais. O desenho da tubeira C tipo sapata côncava com 3 canais é mostrado na Fig. (4). Essa forma geométrica mostra a influência do ângulo de incidência do fluido sobre o rebolo no escoamento do fluido, quando o mesmo entra em contato com o rebolo que gira em alta velocidade. Aqui o ângulo de incidência negativo indica que com o aumento da velocidade possa haver um aumento na turbulência, porque a componente de força que joga o fluido contra o rebolo é diminuída. A tubeira, apoiada sobre o rebolo, impede o surgimento de folgas entre a tubeira e o rebolo. Os raios côncavos dos canais possuem o mesmo valor do raio do rebolo. A camada de ar que se forma pelo giro do rebolo é afastada pela tubeira. A área dentro dos canais que levam o fluido para a região de contato se mantém constante ao longo de todo o seu comprimento.

Tubeira D tipo sapata convexa com 3 canais. Esse desenho de tubeira prevê a incidência do fluido diretamente sobre o rebolo, possibilitando uma limpeza mais eficiente dos poros do rebolo. A Fig. (4) mostra o desenho dessa tubeira. Os raios convexos dos canais possuem o mesmo valor do raio do rebolo. A tangência dos canais com o rebolo não é observada no ponto de contato com o rebolo. O escoamento do fluido é realizado em uma seção de área que não varia desde a entrada nos canais, até as proximidades do rebolo. A área dentro dos canais é igual à área da tubulação que conduz o fluido. A camada de ar que se forma pelo giro do rebolo é afastada pela tubeira. A incidência do fluido sobre o rebolo é mais direta. Como conseqüência, a limpeza do rebolo é mais eficiente.

5.1 Potência consumida

Os resultados obtidos, neste trabalho, mostram a importância do conhecimento do que acontece no interior do corpo da tubeira do tipo sapata, visto que através de mudanças no projeto da tubeira de alimentação do fluido, obtêm-se

melhoras significativas no escoamento de fluido. No uso de um fluido à base de água verificou-se que o consumo de energia para acelerar o fluido perfaz apenas uma parcela da energia consumida em um processo de retificação de alta velocidade. A potência necessária para impulsionar o fluido na saída da tubeira não inviabiliza o processo.

O consumo de energia verificado para acelerar o fluido na fenda entre rebolo e tubeira não requer o uso de conjugados motor-bomba de grande potência para aplicação de tubeiras do tipo sapata. A tubeira A de canal simples apresenta o menor consumo de energia, a tubeira C côncava com três canais, o maior. O aumento da abertura da fenda provoca uma diminuição da potência consumida e para valores de fenda superiores a 0,25 mm, nos ensaios realizados com um rebolo com uma largura de 28 mm, em nenhum caso foi registrado um consumo de energia maior que 2 kW Fig. (5).

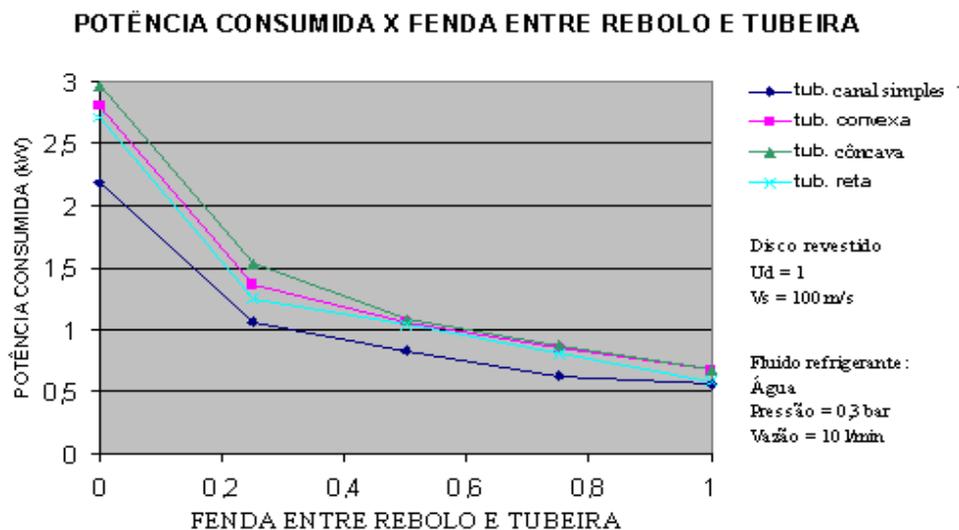


Figura 5. Consumo de potência em função da fenda entre rebolo e tubeira para velocidade de 100 m/s.

5.2 Resultados da simulação numérica

O escoamento do fluido no interior do corpo das tubeiras foi analisado com ferramentas da simulação numérica, Fig. (6), com código computacional CFX 5.7.

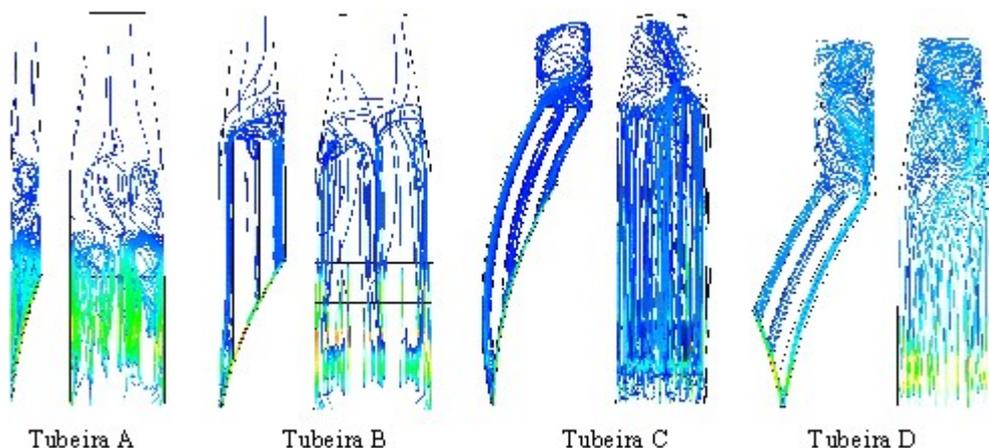


Figura 6. Simulação numérica do escoamento do fluido na tubeira A, B, C e D para velocidade 100m/s, fenda 0,5mm, vazão 10 l/min.

Os resultados obtidos na simulação numérica, mostram regiões turbulentas na entrada e na saída do fluido nas tubeiras. A diminuição da intensidade da cor mostra um aumento da velocidade do escoamento da entrada para a saída das tubeiras. Com base na simulação numérica as regiões escolhidas para as filmagens foram à região onde se iniciam os canais e a região próxima ao rebolo.

5.3 Análise do escoamento do fluido no interior das tubeiras

O escoamento dentro do corpo da tubeira A reta de canal simples, abertura da fenda entre rebolo e tubeira de 0,10mm, vazão do fluido de 10 l/min e velocidade periférica do rebolo de 100 m/s é mostrado na Fig. (7).

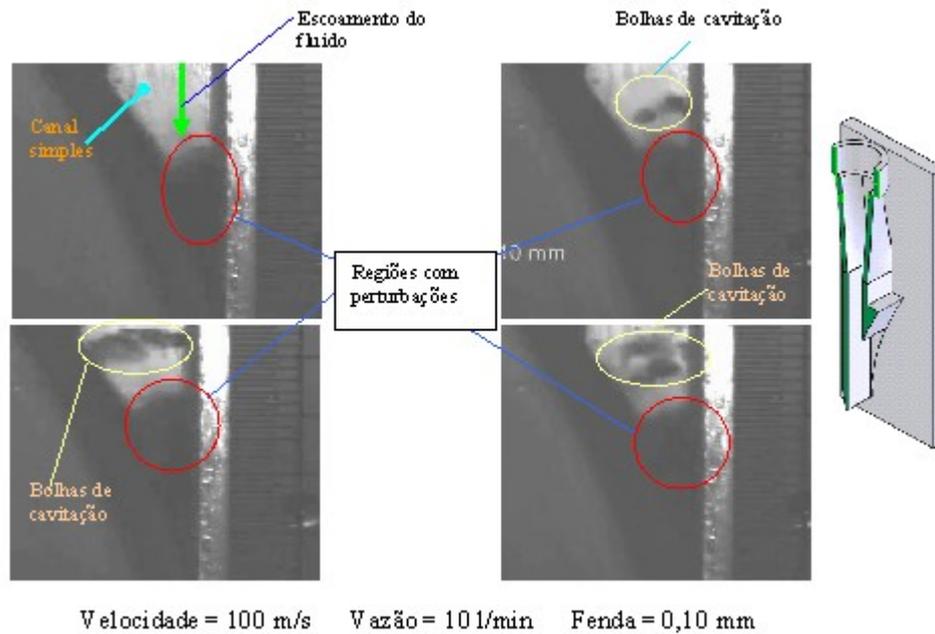


Figura 7. Escoamento de fluido para a tubeira A reta de canal simples próximo à superfície do rebolo para velocidade periférica de 100 m/s e abertura da fenda entre rebolo e tubeira de 0,10 mm.

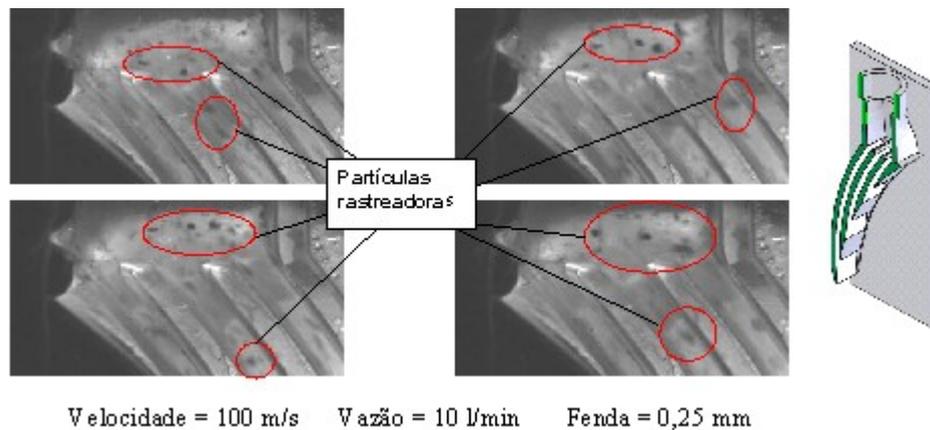


Figura 8. Influência das nervuras direcionais sobre o fluxo do fluido no interior da tubeira C côncava com 3 canais.

O escoamento do fluido no interior da tubeira próximo à superfície do rebolo comprova a simulação numérica, mostrando fortes perturbações no escoamento do fluido. Analisando a região de entrada das tubeiras com canais é possível constatar que a presença das nervuras que dividem o fluxo do fluido no interior das tubeiras leva a turbulência do fluxo do fluido como mostrado na Fig. (8).



5^o COBEF
Congresso Brasileiro de
Engenharia de Fabricação

Na entrada da tubeira é observada uma forte turbulência com flutuações de pressão tão acentuadas que levam a formação de bolhas de cavitação no fluxo. As partículas rastreadoras acompanham estas turbulências e permitem sua visualização. Estas oscilações de pressão são causadas pela sucção provocada pelo rebolo quando este entra em contato com o fluido. Na região do duto com as aletas estabilizadoras o fluxo se torna quase laminar, não se percebendo perturbações nas trajetórias das partículas rastreadoras, comprovando a simulação numérica. A Fig. (9), mostra o escoamento do fluido sem a utilização de partículas rastreadoras no corpo da tubeira C côncava com 3 canais. Para velocidades acima de 100m/s e abertura da fenda entre rebolo e tubeira abaixo de 0,15 mm surgem bolhas de cavitação no escoamento. O fluido vaporiza no canal c1 na parte esquerda da figura acompanha a turbulência e escoo pelo canal c3 à direita na figura. A existência de bolhas de cavitação no fluxo do fluido bombeado pela tubeira revela as fortes oscilações de pressão que ocorrem no interior da tubeira. Estas oscilações de pressão são causadas pela sucção provocada pelo rebolo quando este entra em contato com o fluido. Para eliminar as bolhas de cavitação foi necessário aumentar a pressão de alimentação do fluido, ou aumentar a abertura da fenda entre o rebolo e a tubeira. Um aumento da abertura da fenda entre rebolo e sapata, no entanto, diminui a eficiência do fluxo de fluido na direção da peça e aumenta o arraste de ar entre a sapata e o rebolo.

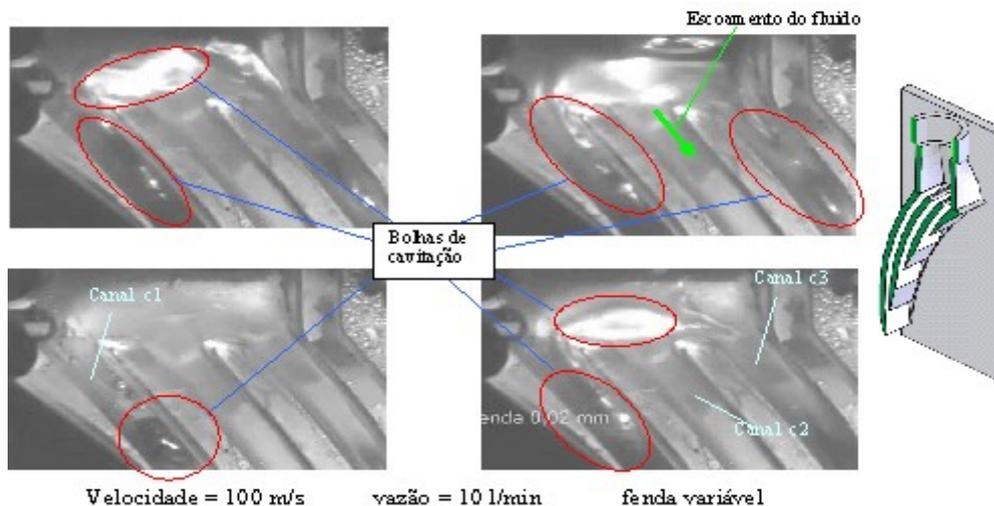


Figura 9. Escoamento do fluido na região de entrada da tubeira C côncava com 3 canais.

5.4 Influência da variação da abertura da fenda entre rebolo e tubeira sobre o escoamento do fluido no interior da tubeira.

A variação na distância entre a tubeira e o rebolo altera o comportamento do fluido no interior da tubeira, Fig. (10). Para abertura de fenda 0,10 mm o escoamento apresenta turbulência intensa. De 0,10 até 0,15 mm existe uma turbulência muito pequena. Para abertura de fenda acima de 0,30 mm é possível visualizar o ar arrastado pelo rebolo, e para valores maiores de abertura de fenda, o ar entra em grande quantidade. Nessas imagens é possível constatar que a diminuição da abertura da fenda favorece a formação de bolhas de cavitação a baixa pressão pelo aumento da velocidade do fluido impulsionado pelo rebolo. Os resultados obtidos nesta etapa mostram uma faixa ótima de trabalho em termos de abertura de fenda entre rebolo e tubeira para cada tubeira analisada.

A Figura (10) do canal c3 da tubeira B reta com 3 canais, mostra que para abertura de fenda pequenas (0,10 a 0,15 mm) a influência sobre o comportamento do fluido é pequena. Para valores de 0,15 mm até 1,5 mm não é possível detectar turbulência ou aparecimento da entrada de ar.

No canal c3 da tubeira C côncava com 3 canais Fig. (11), para abertura de fenda pequenas (0,10 a 0,30 mm) a influência sobre o comportamento do fluido é grande. Para valores de abertura de fenda entre 0,30 e 1,0 mm, existe uma pequena turbulência. Para abertura de fenda maiores que 1,5 mm a entrada de ar torna-se visível.

No canal c3 da tubeira D convexa com 3 canais, abertura de fenda pequenas (0,10 a 0,20 mm) a influência do rebolo sobre o comportamento do fluido é grande. Para valores de abertura de fenda entre 0,20 e 1,0 mm, não é possível visualizar turbulência ou aparecimento da entrada de ar. Para abertura maior que 1,0 mm a entrada de ar é visível.

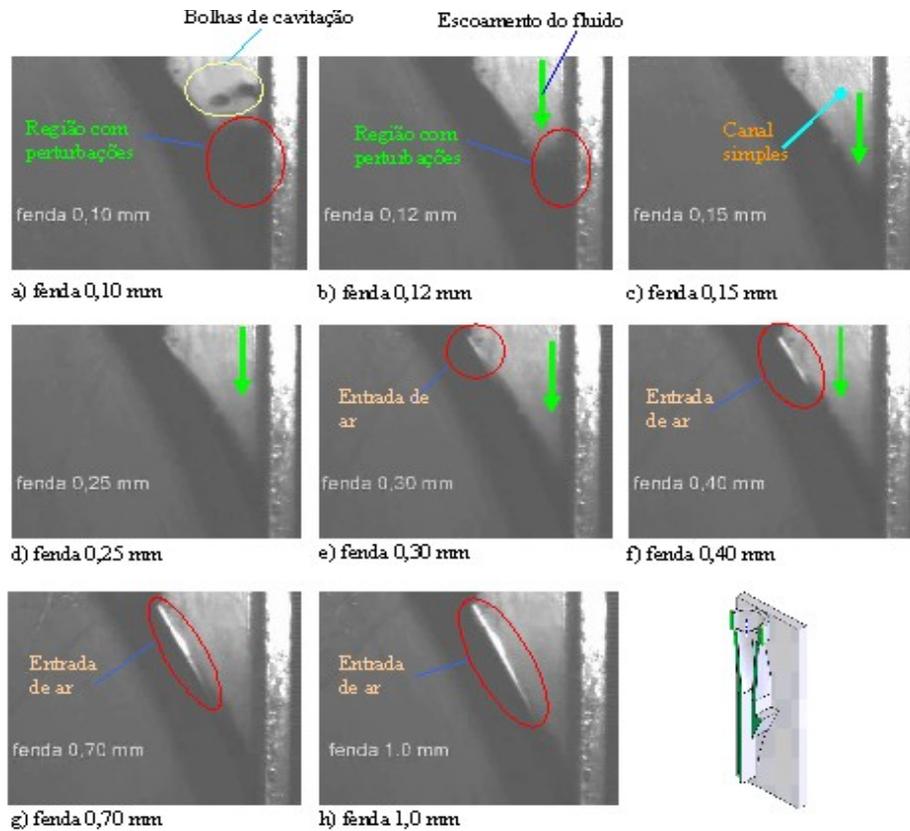


Figura 10. Escoamento do fluido para tubeira A reta de canal simples próximo a superfície do rebolo com variação da abertura da fenda entre rebolo e tubeira.

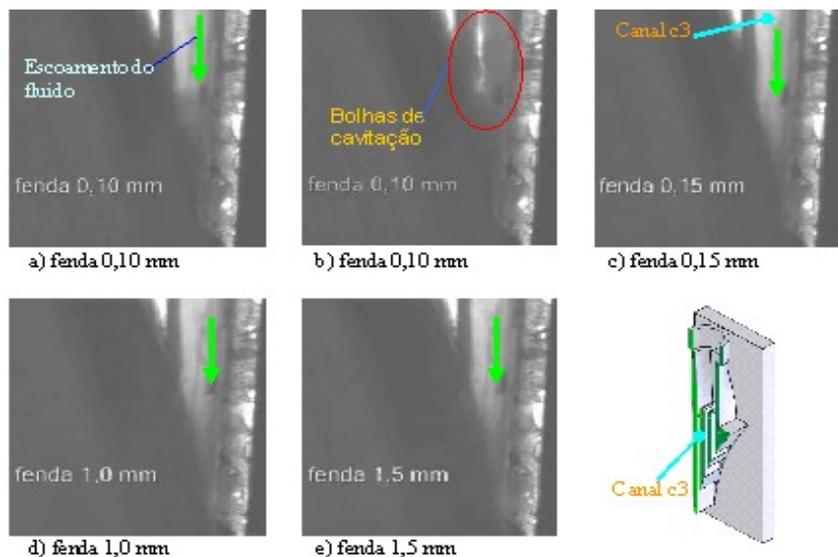


Figura 11. Escoamento do fluido no interior do canal 3 da tubeira B reta com 3 canais variando a abertura da fenda entre rebolo e tubeira.

Na tabela (1) os valores de abertura de fenda entre rebolo e tubeira onde há turbulência e entrada de ar são mostrados. Analisando o canal c3 das diversas tubeiras e comparando com os da tubeira A de canal simples, verifica-se que a faixa de trabalho, em que não ocorrem turbulência e nem presença do ar, possuem valores bastante distintos. Para tubeira A de canal simples a faixa de trabalho ótima está situada entre 0,15 e 0,30 mm, faixa considerada muito pequena



5^o COBEF
Congresso Brasileiro de
Engenharia de Fabricação



COMPROMETIDA COM A PROMOÇÃO DO DESENVOLVIMENTO
DA ENGENHARIA E DAS CIÊNCIAS MECÂNICAS

V CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO
14 a 17 de abril de 2009 - Belo Horizonte - Minas Gerais - Brasil

e difícil de controlar, dentro do processo produtivo. Para a tubeira B reta com 3 canais, a faixa de trabalho ótima está entre 0,15 e 1,5 mm o que facilita o controle do processo mesmo para rebolos convencionais. Para a tubeira C côncava com 3 canais, não existe uma faixa de trabalho ótima, já que a turbulência aparece para todos os valores de abertura de fenda ensaiados. Para tubeira D convexa com 3 canais a faixa de trabalho ótima está entre 0,20 e 1,0 mm. Para alta velocidade (100 m/s), na região de contato do líquido com o rebolo, o rebolo exerce uma componente de força que tende a afastar o líquido, sendo necessário que o líquido incida sobre o rebolo com uma pressão contrária que anule a força de repulsão do rebolo, evitando a formação de vapor à baixa pressão, motivo que confere as tubeiras B reta com 3 canais e D convexa com 3 canais os melhores resultados quanto à turbulência.

Tabela 1. Comportamento do fluido no interior das tubeiras tipo sapata com velocidade periférica do rebolo 100 m/s, vazão 10 l/min e variação da abertura da fenda entre rebolo e tubeira (mm)

Fenômeno	Tubeira A reta de canal simples	Tubeira B reta com 3 canais			Tubeira C côncava com 3 canais			Tubeira D convexa com 3 canais		
		Canal c1	Canal c2	Canal c3	Canal c1	Canal c2	Canal c3	Canal c1	Canal c2	Canal c3
Turbulência e vaporização no interior da tubeira	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
	0,15	0,40	0,40	0,15	2,0	2,0	2,0	0,30	0,20	0,20
Entrada de ar na fenda entre rebolo e tubeira	acima de 0,30	acima de 1,0	Acima de 1,5	acima de 1,5	acima de 1,5	não até 2,0	acima de 1,5	acima de 0,7	acima de 1,0	acima de 1,0

6. CONCLUSÕES

O escoamento do fluido no interior das tubeiras mostrou comportamentos distintos para cada tubeira analisada.

Tubeira A de canal simples - Apresentou uma turbulência intensa quando da passagem do fluido ao longo do seu corpo, que aumenta na região próxima do rebolo. Os resultados obtidos com a variação da abertura da fenda entre rebolo e tubeira para velocidades de 100 m/s e vazão de 10 l/min, define uma faixa ótima de trabalho entre 0,20 mm até 0,30mm, o que restringe muito a sua utilização.

Tubeira C côncava com 3 canais - Não apresentou bons resultados. Uma análise do corpo da tubeira mostra turbulência na passagem do fluido dentro do seu corpo pela presença das barreiras criadas pela parede que formam os canais. Essa turbulência é logo amenizada e o fluido passa a percorrer a trajetória dada pelos canais. Aumentando a abertura da fenda entre rebolo e tubeira, verifica-se que junto ao rebolo, existem turbulências geradas pelo rebolo em todos os canais da tubeira. Essas turbulências são maiores para aberturas de fenda menores e diminuem com o aumento da abertura da fenda. O ar arrastado pelo rebolo aparece para valores de abertura de fenda acima de 1,5 mm, o que demonstra a eficiência dos primeiros canais como barreira à passagem do ar.

Tubeira D convexa com 3 canais - A variação da abertura da fenda entre rebolo e tubeira mostrou que a partir de 0,40 mm até aproximadamente 0,70 mm não ocorreu turbulência no escoamento do fluido, nem o aparecimento da camada de ar arrastada pelo rebolo. É uma faixa de trabalho pequena, mas bem definida. A incidência quase normal do fluido sobre a superfície do rebolo leva à uma maior eficiência da tubeira D, comparada com a tubeira C côncava.

Tubeira B reta com 3 canais - Apresenta os melhores resultados quanto aos parâmetros avaliados. Nos canais da tubeira B reta, não se encontram perturbações significativas no escoamento. A variação da abertura da fenda entre rebolo e tubeira mostrou que a partir de 0,40 mm até aproximadamente 1,0 mm não ocorre turbulência no escoamento do fluido, nem o aparecimento da camada de ar arrastada pelo rebolo. É uma faixa de trabalho maior do que a obtida com a tubeira D convexa, confirmando a eficiência dos canais iniciais na eliminação do ar arrastado pelo rebolo. A forma e o ângulo com que o fluido entra em contato com o rebolo são mais eficientes quando comparados com a tubeira D convexa. Essa tubeira também apresenta a vantagem de ser mais simples, o que diminuem os custos de fabricação.

7. AGRADECIMENTOS

Ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina (CEFETSC) e ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), pela oportunidade de realização deste trabalho.

8. REFERÊNCIAS

- Malkin, S., 1989, "Grinding Mechanisms e Grinding Temperatures and Thermal Damage." In: Malkin, S. Grinding Technology: "theory and applications of machining with abrasives". 1. ed. Chichester, Ellis Horwood Limited, Cap. 5 e 6, p. 108 - 171.
- Brinksmeier, E., Brockhoff, T., Walter, A., 2000, "A. Minimum quantity lubrication in grinding." In: International Machining & Grinding Conference, sep. 8 – 11, 1997. Dearborn. Anais... Michigan:SME, 8 p.
- Weingärtner, E., 2005, "Retificação do Ferro Fundido Nodular com Rebolos de CBN a Altas Velocidades de Corte." Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.
- Webster, J. A., 1999, "Optimizing coolant application systems for high producing grinding." Abrasive Magazine, October./November, p. 34-41.
- Webster, J. A., 1995, "Selection of coolant type and application technique in grinding." Supergrind, University of Connecticut, USA, p. 205-220.
- Briksmeier, E.; Heinzl, C.; Wittmann, M.; Schmid, U.; Dreyer, M.; Rath H. J. Silva C. E.; Coelho R. T., 2001, "Como a aplicação do fluido refrigerante pode ser melhorada na retificação." Tradução de Werner S Rothschild. Máquinas e Metais, Brasil, p. 34 – 41.

ANALYSIS OF THE FLOW OF THE COOLING FLUID IN THE SHOE NOZZLES FOR GRINDING IN HIGH-SPEED

Jânio Rodrigues Lopes, jlopes@cefetsc.edu.br¹
Walter Lindolfo Weingaertner, wlw@lmp.ufsc.br²

¹Federal Center of Technological Education of Santa Catarina, Management of Metal-mechanics, Av. Mauro Ramos, 950, Centro, 88.020-300, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil Phone: 48 3221 0533 / 3221 0500 Fax: 48 3224 0727

²Departamento of Mechanical Engineering Federal University of Santa Catarina Campus - Trindade – EMC Mailbox :476 - Florianópolis - SC - Brazil CEP: 88.010-970 Phone: +55 (0) 48 3331 9395 / 234 5277 Fax: +55 (0) 48 3234 1519 E-mail: lmp@lmp.ufsc.

Abstract: *In the grinding process the increase of the cut speed leads to the increase of the amount of heat generated in the process. The cooling fluid is presented as an indispensable resource to prevent the incidence of thermal damages in the parts and consumes prematurely the grinding wheels. An interesting alternative for improving the application of the cooling fluid in the grinding is the use of shoe nozzles. With the shoe it is possible to increase the effect of drag of the fluid for grinding wheels at the same time where the effect of the created air layer is minimized with the rotation of grinding wheels. An efficient project of shoe still makes possible the increase of the speed of the fluid output next to the grinding wheels without increasing significantly the necessary power so that a bigger amount of fluid reaches the cut region. With the objective to improve the capacity of cooling obtained with the shoe nozzles, four nozzles have been projected to be analyzed: a shoe nozzle without canals, a shoe nozzle with straight canals, a shoe nozzle with concave canals and a shoe nozzle with convex canals. Inside, to make possible the visualization of the flow of the fluid of the nozzles, they have been constructed in acrylic and the water was used with fluid. As grinding wheels, a disk of aluminum, coated with a layer of abrasive was used. The tests of energy consumed and condition of flow were carried through. The energy consumed was determined by measuring the current consumed in the process; the condition of the flow inside of the nozzle was analyzed on the basis of the films carried through by means of a camera of high speed. In the tests, grinding wheels peripheral speeds were used between 60 and 120 m/s, as well as two topographies of grinding wheels, three fluid flow rates and opening of the crack between grinding wheels and nozzle variable of zero up to 2,0mm. The results showed the energy consumed in all the tests if kept below 2 kW. The flow of the fluid inside of the nozzle suffered significant influence in respect to the variation from the opening of the crack between the nozzle and the grinding wheels. The nozzle that presented the best result related to the consumed power was the nozzle without conductors. The nozzle that presented the best result related to the flow condition was the shoe nozzle with straight canals.*

Keyword: Grinding Process; Cooling Fluid; Shoe Nozzles.