

## **ESTUDO COMPARATIVO COM DIFERENTES FLUIDOS DE CORTE NO TORNEAMENTO COM METAL DURO REVESTIDO COM TiN**

### **Rolf Bertrand Schroeter**

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Eng. Mecânica, Laboratório de Mecânica de Precisão, 88010-970, Florianópolis, SC, Brasil. E-mail: rolf@emc.ufsc.br

### **Cleiton Rodrigues Teixeira**

Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Departamento de Materiais e Construção, 96200-900, Rio Grande, RS, Brasil. E-mail: dmcprt@super.furg.br

### **Walmir Markus**

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Eng. Mecânica, Laboratório de Mecânica de Precisão, 88010-970, Florianópolis, SC, Brasil. E-mail: markus@imp.ufsc.br

### **Resumo**

Este trabalho tem como objetivo analisar o comportamento do desgaste de flanco ( $VB_{máx.}$ ) na ferramenta e das forças de usinagem (força de corte, força de avanço e força passiva) obtidas no processo de torneamento com insertos de metal duro revestidos com TiN. Neste estudo foram empregadas seis condições de fluido de corte: usinagem a seco, emulsão com jato e usinagem com a mínima quantidade de fluido de corte (MQFC), com óleo vegetal, óleo mineral, bissulfeto de molibdênio e emulsão 6%. Através deste estudo, pôde-se gerar informações tecnológicas que possibilitam uma comparação entre a usinagem com a minimização de fluido de corte e as atuais condições de produção na indústria.

**Palavras-chave:** Minimização de fluido de corte, Torneamento, Insertos de Metal Duro

## **1. INTRODUÇÃO**

A cada ano cresce consideravelmente a consciência ambiental, e o aumento dos problemas de descartes, pressionado por uma legislação mais severa, ISO 14000, leva a que cada vez mais empresas se aprofundem nas questões de compatibilidade ambiental das suas produções (Teixeira, 1997).

Os fluidos de lubrificação e refrigeração que tem por finalidade aumentar a vida da ferramenta, reduzir a força e potência de corte, entre outros, (Stemmer, 1995, Könnig, 1997), devem adequar-se às novas exigências da legislação ambiental devido a problemas gerados a partir do descarte do mesmo e seus possíveis riscos à saúde e ao meio ambiente.

Com o desenvolvimento contínuo das máquinas-ferramentas, juntamente com o desenvolvimento progressivo dos materiais de corte com significativa resistência ao desgaste, existe hoje uma capacidade de corte de metais muito mais elevada.

Dentro deste contexto, o presente trabalho se propõe a desenvolver estudos no processo de torneamento, com o objetivo de adaptá-los às novas exigências ecológicas. Entre os vários fatores existentes neste processo, os "fluidos de corte" se apresentam como um dos principais

fatores de contaminação ambiental, razão pela qual este trabalho dispensa uma atenção especial a este meio de auxílio à produção.

## 2. METODOLOGIA DOS ENSAIOS

Através da reprodução simulada de uma operação específica de produção (torneamento), buscaram-se informações sobre a influência dos fluidos de corte neste processo, bem como as limitações impostas pela redução e eliminação do mesmo.

Neste estudo foram empregadas seis condições de fluido de corte: usinagem a seco, emulsão com jato e usinagem com a mínima quantidade de fluido de corte (MQFC), com óleo vegetal, óleo mineral, bissulfeto de molibdênio e emulsão 6%. Para cada condição, foram realizadas três repetições, para uma posterior análise estatística dos resultados.

Foram utilizados insertos de metal duro revestidos com TiN da empresa Sandvik, modelo (CG 4025 SNMG 120408-PM), com um suporte de ferramentas modelo (PSBNR 2525 M12). Os parâmetros de usinagem utilizados foram constantes durante todo o ensaio, e foram os seguintes:

Velocidade de corte ( $v_c$ ) = 290 m/min

Profundidade de corte ( $a_p$ ) = 1,0 mm

Avanço ( $f$ ) = 0,4 mm

Os parâmetros de corte foram determinados em função do tempo ótimo recomendado pelo fabricante, considerando o custo/benefício da ferramenta, e também em função de conveniências técnicas e econômicas.

### 2.1 Fluidos de corte

Os fluidos de corte empregados possuem as seguintes características:

- MQFC 1 - Solução com 20% de pasta Molikote (98% MoS<sub>2</sub> em pó e 2% Óleo Mineral), 40% de óleo MA10 (Maxlub Bardahl) e 40% de querosene. Aplicado a uma inclinação de 45° entre a peça e a ferramenta, com uma vazão de 50 ml/h;
- MQFC 2 - Solução com 6% de MAXLUB RECUT 2, fornecido pela empresa BARDAHL, aplicado a uma inclinação de 45° entre a peça e a ferramenta, com uma vazão de 50 ml/h;
- MQFC 3 - Óleo de origem mineral com especificação MAXLUB B5G725 fornecido pela empresa BARDAHL, aplicado com uma pressão de 3 bar a uma inclinação de 45° entre a superfície da peça e a ferramenta através de um bico com vazão de 50 ml/h;
- MQFC 4 - Óleo de origem vegetal com especificação IT-MICRO 4300 fornecido pela empresa I. Terstegen da Alemanha, aplicado por dois bicos injetores com uma pressão de 3 bar a uma inclinação de 45° entre a superfície da peça e a ferramenta, com vazão de 25 ml/h cada bico, totalizando 50 ml/h;
- Emulsão - Solução com 6% de MAXLUB RECUT 2, fornecido pela empresa BARDAHL, aplicado a uma inclinação de 45° entre a peça e a ferramenta e com uma vazão de aproximadamente 195 l/h;
- Seco - Sem introdução de fluido de corte.

Segundo Klocke e Gerschwiler, 1996, quantidade mínima de fluido de corte refere-se a vazões de até 50 ml/h que são aplicados em forma de névoa. A figura 1 ilustra o sistema de emulsão com jato e o sistema de névoa.



A - Emulsão 6 %



B - MQFC 1

**Figura 1.** Visualização do sistema de emulsão com jato (A) e sistema de névoa (B)

## 2.2 Material ensaiado e estratégia de usinagem

O material usinado foi o aço SAE 1040 em barra redonda laminada, sem tratamento térmico, com diâmetro bruto de 4 polegadas, fornecido pela empresa GERDAU S/A. Os testes consistiram na realização de ensaios de torneamento cilíndrico longitudinal, utilizando corpos de prova com um comprimento de usinagem de 325 mm, diâmetro inicial de 100 mm e diâmetro final de 46 mm.

Dentro deste intervalo de usinagem, definiram-se 6 pontos para a medição do desgaste de flanco e da força ( $F_c$ ,  $F_p$ ,  $F_f$ ). A primeira medição de desgaste foi realizada com a ferramenta nova, e a primeira medição de força, no início do primeiro passe. Após o término dos passes de número 2, 6, 13, 22 e 26, foram feitas as medições de desgaste de flanco ( $VB_{máx.}$ ), e conseqüentemente no início do passe seguinte a cada medição feita, foi realizada a medição das forças, podendo-se assim então relacionar desgaste e força.

## 2.3 Equipamentos utilizados

Para realizar os experimentos utilizou-se um torno universal, marca Romi, modelo I-45. Para a medição das forças, foi empregada uma plataforma piezelétrica para torneamento KISTLER INSTRUMENTE 9263 A, com amplificador de sinais KISTLER INSTRUMENTE AG 5006, placa de aquisição de sinais AD/DA (conversor de sinais analógicos para digitais). Um sistema de aquisição de imagem digital (câmera p&b  $1/2$  CCD, placa de aquisição e programa dedicado), sistema de aplicação de fluidos de corte em forma de névoa I. TERSTEGN MMKS T150, sistema de fluido com vazão de 195 l/h e outros acessórios foram também empregados na execução dos ensaios e análise dos resultados.

## 2.4 Planejamento experimental

Com o objetivo de sistematizar os intervalos de aquisição de dados e garantir a repetibilidade das medições, elaborou-se um plano de trabalho para os experimentos (tabela 1). A primeira etapa foi comprovar a qualidade geométrica dos inserts, e para isto fez-se uma avaliação de algumas dimensões principais, como o raio de quina, ângulo de direção do gume e ângulo de inclinação lateral após a montagem do inserto no suporte de ferramenta. Fez-se

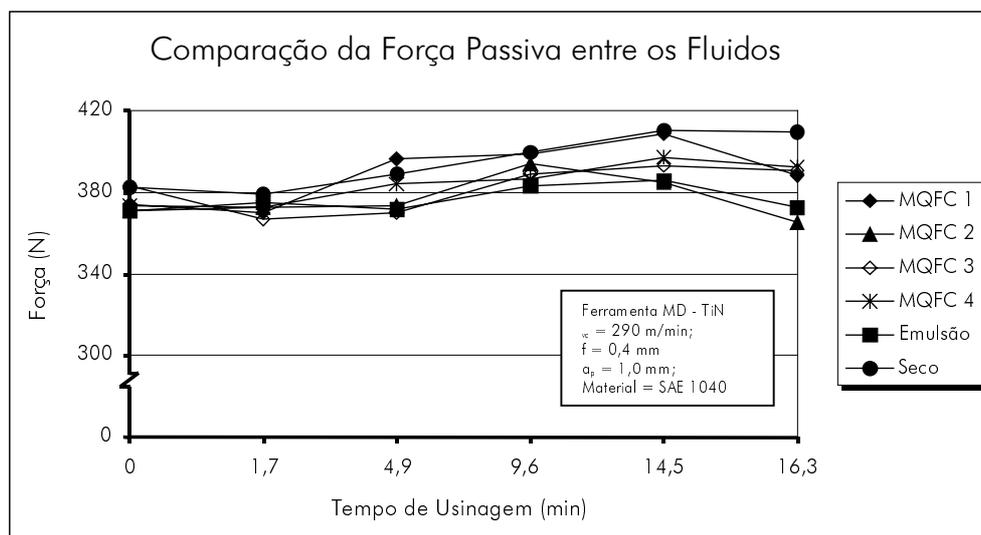
também uma avaliação do gume de corte da ferramenta através da câmera CCD, para garantir que não houvessem trincas, fissuras ou qualquer outro tipo de defeito que pudesse alterar as informações geradas durante os ensaios.

**Tabela 1.** Planilha esquemática para execução do ensaio.

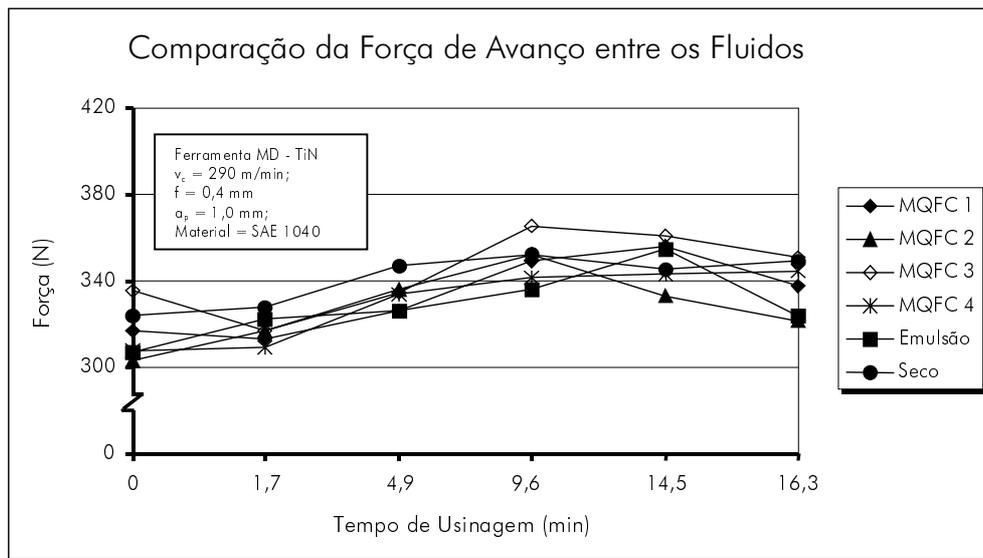
Etapa	Descrição
1	Verificação da qualidade geométrica do inserto
2	1° Aquisição dos dados de desgaste (inserto novo)
3	1° Aquisição dos dados de força (início do 1° passe)
4	2° Aquisição dos dados de desgaste (após 2° passe)
5	2° Aquisição dos dados de força (início do 3° passe)
6	3° Aquisição dos dados de desgaste (após 6° passe)
7	3° Aquisição dos dados de força (início do 7° passe)
...	...
n	Repetem-se as etapas 6 e 7 nos passes (13 e 14, 22 e 23, 26 e 27) respectivamente, resultando em um total 6 medições de desgaste e força.

### 3. MEDIÇÃO DA FORÇA

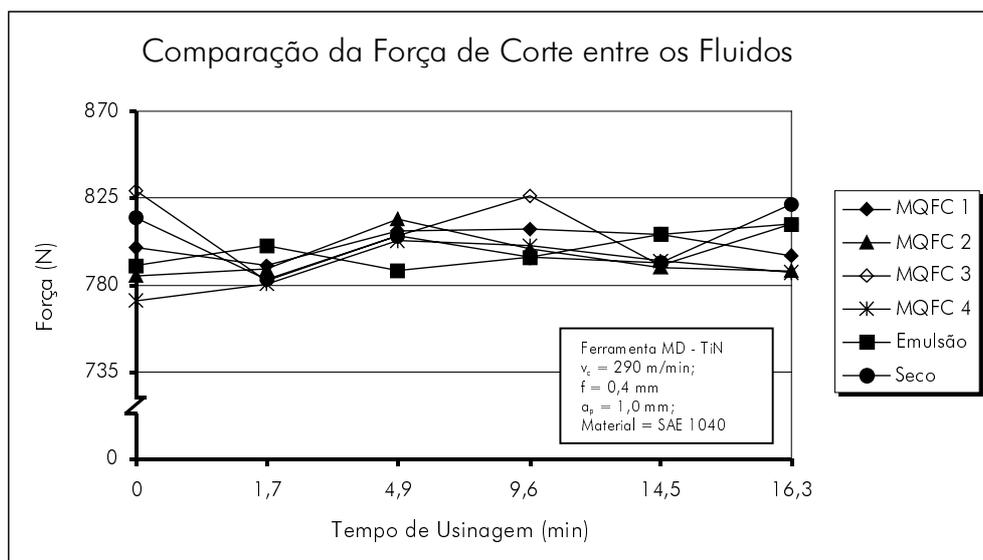
Para adquirir o sinal de força utilizou-se uma plataforma piezelétrica 9263 A KISTLER, onde o sistema de aquisição foi ajustado para gravar 200 medições por segundo (0,2 kHz) durante 15 segundos. A medição foi realizada no início de cada passe. Para a comparação das forças de usinagem entre os fluidos em cada ponto de medição, adotou-se a média das três repetições, observando a  $F_c$ ,  $F_f$ ,  $F_p$ , individualmente



**Figura 2.** Comportamento da força passiva para os diferentes fluidos



**Figura 3.** Comportamento da força de avanço para os diferentes fluidos



**Figura 4.** Comportamento da força de corte para os diferentes fluidos

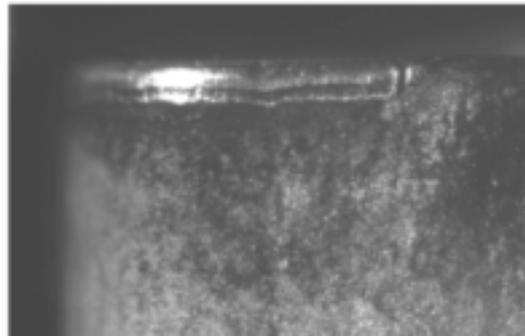
Na figura 2, 3 e 4, podemos visualizar o comportamento da força passiva ( $F_p$ ), força de avanço ( $F_f$ ) e força de corte ( $F_c$ ), respectivamente, para os diferentes tipos de fluidos de corte aplicados. No eixo das ordenadas de cada gráfico, tem-se a força (em N), e no eixo das abscissas o tempo de usinagem (em minutos).

#### 4. MEDIÇÃO DO DESGASTE

Para quantificar o desgaste ocorrido na ferramenta, foi empregada a metodologia de medição proposta por Schroeter e Teixeira, 2000, no qual se registram os defeitos ocorridos na face e no flanco principal da ferramenta através de uma câmera CCD em intervalos pré-determinados, conforme o planejamento do experimento. Estas imagens são arquivadas e

posteriormente analisadas com auxílio de um *software* adequado para a medição dos respectivos desgastes.

Pôde-se observar através das imagens registradas que o desgaste de flanco ( $VB_{m\acute{a}x.}$ ) foi bastante significativo em todas as ferramentas. A figura 5 mostra a marca de desgaste máximo ocorrido na face de um dos insertos utilizados, e a figura 6 mostra e compara a evolução do desgaste de flanco ( $VB_{m\acute{a}x.}$ ) para os diferentes fluidos de corte.



**Figura 5.** Desgaste de flanco ( $VB_{m\acute{a}x.}$ )

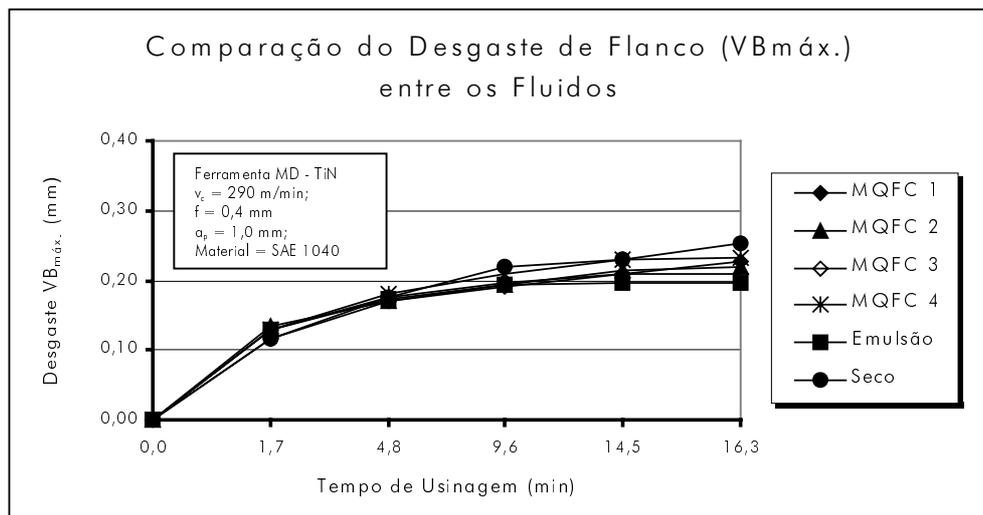


Figura 6 - Comportamento do desgaste de flanco ( $VB_{m\acute{a}x.}$ ) nos diversos fluidos de corte

## 5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para cada tipo de fluido de corte, foram realizados três ensaios em condições idênticas. Através destes, pôde-se realizar uma análise estatística usando a análise de variância, para verificar se as diferenças encontradas no desgaste de flanco ( $VB_{m\acute{a}x.}$ ) e nas forças de usinagem ( $F_c$ ,  $F_f$ ,  $F_p$ ) em cada fluido são significativas, Montgomery, 1996. Realizada esta análise, chegou-se à conclusão que não existe nenhuma diferença significativa, tanto para o desgaste como para as forças, dentro das condições de usinagem utilizadas.

Analisando cada gráfico, pode-se fazer algumas observações. Verificou-se que houve uma pequena variação no ângulo de inclinação do gume, devido ao desgaste apresentado na ferramenta no decorrer da usinagem, o que contribuiu na variação da força passiva e força de avanço, conforme figuras 2 e 3. Já na figura 4, tem-se uma pequena variação da força de corte no início da usinagem, mas após a estabilização do gume da ferramenta, estas praticamente

não apresentam variação. Nota-se um aparente aumento mais acentuado das forças de corte no caso da usinagem a seco, o que pode ser justificado pelo fato de neste caso, haver um aumento do atrito entre peça/ferramenta, e um aumento do calor gerado, resultando em um desgaste maior nesta ferramenta, conforme mostrado na figura 6.

Ainda na figura 6, pode-se verificar que a evolução do desgaste de flanco ( $VB_{m\acute{a}x.}$ ) é bastante semelhante para todos os casos, com um aparente crescimento mais acentuado na usinagem a seco e MQFC 4. Em relação às ferramentas utilizadas em condição de mínima quantidade de fluido de corte, verificou-se que a ferramenta com o qual foi empregado óleo mineral como fluido teve aparentemente um melhor comportamento em relação ao desgaste de flanco ( $VB_{m\acute{a}x.}$ ).

Os cavacos gerados em cada ensaio específico, apresentaram um pequena mudança no decorrer da usinagem. Passaram da forma de vírgula, no início da usinagem, para a forma de fitas helicoidais curtas, no final da usinagem. Com exceção da cor, não foram observadas mudanças em relação a forma ou tipo de cavaco com a variação do fluido de corte.

## 6. CONCLUSÕES

Cada processo de usinagem possui suas características específicas inerentes ao processo, material e ferramenta. Apesar destas características, pode-se estabelecer algumas considerações importantes que contribuem de um modo mais genérico com o tema estudado.

O processo de usinagem a seco é, sem dúvida, o melhor meio que combina vantagens ecológicas e econômicas na usinagem com geometria definida. Através dos experimentos realizados, pôde-se verificar que não existiram diferenças significativas no desgaste de flanco ( $VB_{m\acute{a}x.}$ ) e nas forças de usinagem ( $F_c$ ,  $F_p$ ,  $F_f$ ) com a variação dos fluidos de corte. Pôde-se apenas notar um aparente aumento do desgaste na usinagem a seco, mas em valores praticamente insignificantes.

Utilizando-se a mínima quantidade de fluido de corte, verificou-se que os resultados são bastante promissores. Os resultados destes foram muito próximos à emulsão com jato, visto que estas quantidade mínimas de fluido de corte são suficientes para reduzir substancialmente o atrito na ferramenta e a adesão de material, que conseqüentemente levam a uma redução do desgaste.

A utilização de emulsão como fluido de corte é bastante freqüente no meio produtivo, porém pôde-se observar neste experimento apenas uma aparente melhora no desgaste ( $VB_{m\acute{a}x.}$ ), pois na força não notou-se nenhuma diferença significativa em relação aos outros fluidos.

Sendo assim, a utilização de mínima quantidade de fluido de corte no processo de torneamento com insertos de MD revestidos com TiN mostra-se bastante eficiente. Estudos nesta área devem continuar sendo desenvolvidos, pois quando se utiliza a tecnologia da mínima quantidade de fluido de corte, a usinagem de fato não é totalmente a seco, mas muitos problemas envolvidos com a refrigeração convencional são eliminados. Assim, reduzindo-se a quantidade de fluido de corte, tem-se uma redução nos custos do armazenamento desta quantidade excessiva, dos tratamentos necessários para o descarte do mesmo e uma redução da quantidade eliminada para o meio ambiente.

## 7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às empresas SANDVIK, I. Terstegen da Alemanha, Rubens Moreira/BARDAHL e GERDAU S/A.

## 8. REFERÊNCIAS

- Klocke, F.e Gerschwiler, K., 1996, “Usinagem a Seco - Fundamentos, Limites e Perspectivas”, Aachen, 21p.
- König, W. e Klocke, F., 1997, “Fertigungsverfahren 1, Drehen, Fräsen, Bohren”,Ed. Springer-Verlag, Berlin, Germany, 471p.
- Schroeter, R. B., Teixeira, C. R., 2000, “Proposta de Metodologia para Medição do Desgaste em Ferramentas de Corte de Geometria Definida”, Submetido ao CONEM 2000, Rio Grande do Norte, Brasil, 8p.
- Stemmer, C.E., 1995, “Ferramentas de Corte I”, Ed. da UFSC, Florianópolis, Brasil, 249p.
- Teixeira, 1997, “Minimização de Fluido de Corte no Processo de Usinagem com Ferramenta de Geometria Definida”, Exame de Qualificação para Doutorado, UFSC, Florianópolis, Brasil, 42p.
- Montgomery, D.C, 1996, “Design and Analysis of Experiments”, Jonun Wiley & Sons, 704p.