

# ***Efeito de diferentes condições de aplicação de fluídos lubri-refrigerantes no desgaste de brocas de aço-rápido***

**Rodrigo Panosso Zeilmann**

Grupo de Usinagem (GUS), Departamento de Engenharia Mecânica, UCS  
Caxias do Sul, RS, Brasil CEP 95070-560  
rpzeilma@ucs.br

**Ricardo Santin**

Grupo de Usinagem (GUS), Departamento de Engenharia Mecânica, UCS  
Caxias do Sul, RS, Brasil CEP 95070-560  
rsantin@ucs.br

**Andréia Vanessa Finimundi**

Grupo de Usinagem (GUS), Departamento de Engenharia Química, UCS  
Caxias do Sul, RS, Brasil CEP 95070-560  
avfinimu@ucs.br

---

## **Resumo**

As indústrias de manufatura buscam constantemente a melhoria nos processos de fabricação e a redução de seus custos. Nos processos de usinagem, a furação é uma das operações mais utilizadas e que envolve condições severas de corte. Porém, devido ao baixo custo das ferramentas de aço-rápido (HSS), parte das empresas ainda utiliza este tipo de broca na furação de aços classificados como de difícil usinabilidade. Além disso, a aplicação de fluido lubri-refrigerante em abundância ainda é largamente utilizada, apesar dos efeitos danosos que o fluido pode causar ao ambiente e à saúde do operador da máquina. Porém, há uma tendência mundial para a redução ou eliminação do uso de fluidos na usinagem também motivada pela parcela significativa do mesmo sobre o custo total da fabricação. Dessa forma, este trabalho apresenta um estudo sobre o comportamento de desgaste de brocas de aço-rápido M2 sob diferentes métodos de aplicação de fluidos lubri-refrigerantes na usinagem profunda (cinco vezes o diâmetro da broca) do aço DIN 1.2711 com dureza entre 38 e 43 HR<sub>C</sub>. Sob condições de aplicação de fluido em abundância, a broca, de diâmetro 8 mm usinou 0,64 m. Já na aplicação de

## **Abstract**

Manufacturing industries are constantly searching for ways to improve the manufacturing processes and reduce costs. In machining processes, drilling is one of the most frequent operations and is one that involves severe cutting conditions. Thus, many companies still use high-speed-steel (HSS) tools to drill materials of difficult machinability, because these tools have low cost. Furthermore, the abundant application of cutting fluid is still widely practiced, despite the harmful effects that cutting fluid can cause to the environment and to the health of the machine operator. However, the world-wide trend for reduction or elimination of machining cutting fluids is also motivated by the desire to reduce total manufacturing cost. This work presents a study on the wear behavior of M2 high-speed-steel drill under different cutting fluid conditions for deephole drilling. The material used was DIN 1.2711 steel with hardness between 38 and 43 HRC. Under abundant emulsion application, the 8 mm diameter drill machined 0.64 m. Using MQL (Minimal Quantify of Lubricant), the tool machined 0.72 mm. However, with compressed air, the tool machined only 0.40 m. For all tests conditions, the abrasion marks and material adhesion were observed.

MQF (Mínima Quantidade de Fluido), a ferramenta usinou 0,72 m. No entanto, na usinagem com aplicação de ar comprimido, a broca usinou 0,40 m. Para todas as condições ensaiadas foram observadas marcas de abrasão nos gumes das brocas e adesão de material.

**Palavras-chave:** aço DIN 1.2711, mecanismo/tipo de desgaste, MQF, usinagem com ar comprimido.

**Key words:** DIN 1.2711 steel, wear mechanism/type, MQL, dry cutting.

## 1. Introdução

A fabricação de moldes e matrizes é caracterizada pela elevada competitividade industrial, devido ao curto ciclo de vida dos produtos, além da exigência sobre tempos de produção e custos mais baixos. Nesse sentido, os processos de usinagem têm importância significativa na cadeia produtiva em termos de redução de tempos e custos. Além disso, o contexto das matrizerias envolve geralmente condições severas de usinagem, principalmente para o processo de furação, que normalmente utiliza máquinas-ferramentas convencionais.

A participação da furação com brocas helicoidais no total dos processos de usinagem encontra-se na faixa de 20 a 25% do total e, hoje em dia, a broca é a ferramenta fabricada em maior quantidade, sendo também a mais difundida (König e Klocke, 2002). Dessa forma, são importantes estudos sobre o comportamento em desgaste das ferramentas neste processo e a caracterização dos fenômenos tribológicos sob condições severas de trabalho, isto é, com redução ou eliminação de fluidos lubri-refrigerantes.

A Tribologia é definida como a ciência e a tecnologia da interação entre superfícies com movimento relativo, tendo como base o estudo do atrito, do desgaste e da lubrificação (Stachowiak e Batchelor, 2001). Dessa forma, a compreensão dos aspectos relativos à tribologia está relacionada com os mecanismos, os tipos de desgaste e como eles são influenciados pelas condições e variáveis do processo.

Os problemas de desgaste em ferramentas de corte sempre foram motivo de preocupação, devido ao controle dimensional e à necessidade de parada no processo para troca de ferramentas, significando custos adicionais e perda de produtividade. O desgaste é definido como a destruição de uma ou de ambas as superfícies que compõem um sistema tribológico, geralmente envolvendo perda progressiva de material (Hutchings, 1992). A taxa de desgaste depende do material e da ferramenta de corte, do tipo de fluido lubri-refrigerante utilizado e do seu método de aplicação, além dos parâmetros de usinagem, como velocidade de corte, avanço e profundidade de corte, e das características da máquina-ferramenta utilizada (Kalpakjian e Schmid, 2000). Sendo assim, estudos sobre os mecanismos e os tipos de desgaste que ocorrem nas brocas devem ser considerados.

Os efeitos da aplicação ou não dos fluidos lubri-refrigerantes ainda é pouco compreendido pelos gestores do processo de fabricação. Na usinagem, os fluidos de corte apresentam funções primárias, tais como, refrigeração, lubrificação e transporte de cavaco. No entanto, em algumas condições de aplicação, os mesmos podem aumentar expressivamente o desgaste das ferramentas, além de causarem danos aos operadores e ao meio ambiente (Zeilmann, 2003). Não obstante, há uma tendência mundial pela redução e/ou eliminação da aplicação dos fluidos na usinagem. Porém, em muitos casos a refrigeração ainda é essencial para se obter vidas econômicas de ferramentas e qualidades superficiais requeridas (Belejchak, 1997; Braga *et al*, 2002).

Para que a utilização do fluido lubri-refrigerante seja minimizada, duas técnicas têm sido intensamente experimentadas: o corte completamente sem fluido (corte com aplicação de ar comprimido) e o com Mínima Quantidade de Fluido (MQF), pelo qual uma quantidade ínfima de óleo é atomizada em um fluxo de ar comprimido (Machado e Diniz, 2000).

Na mudança do processo convencional, com aplicação abundante de fluido lubri-refrigerante, para o processo com redução ou eliminação do fluido lubri-refrigerante, tem-se uma alteração de equilíbrio das grandezas de entrada (máquina, peça, fluido de corte, ferramenta e parâmetros de corte). Dessa forma, uma análise sistemática das grandezas de processo deve ser realizada, de forma a não haver mudança significativa das grandezas de saída (Hoff, 1986; Grass, 1988; Ruziczka, 1995; Zeilmann, 2003).

Na usinagem com MQF e com aplicação de ar comprimido, tem-se a carência das funções primárias de refrigeração, lubrificação e transporte de cavaco, o que representa mudanças no processo, em termos térmicos e mecânicos. Como resultado final da ausência de fluido lubri-refrigerante, verifica-se que na ferramenta são intensificadas as solicitações térmicas e o desgaste. Na peça são alteradas as precisões de forma e de medida, a qualidade da superfície usinada e as influências sobre a integridade do material fabricado. Para uma compensação da perda das funções primárias do fluido lubri-refrigerante, é necessária a correta escolha do material e da geometria da ferramenta, dos revestimentos destas e da adequação das condições de usinagem (Klocke e Gerschwiler, 1996; Zeilmann, 2003).

Devido ao baixo custo das ferramentas de aço-rápido, parte das empresas ainda utiliza este tipo de brocas na furação de aços classificados como de difícil usinabilidade. Porém, o aço-rápido, que apresenta menor resistência ao desgaste, requer a utilização de fluido lubri-refrigerante, pois, o calor gerado durante o corte aumenta a temperatura da ferramenta em corte e, assim, reduz a sua resistência mecânica (Machado e Diniz, 2000). Dessa forma, o objetivo deste trabalho é realizar um estudo inicial sobre os mecanismos e tipos de desgastes, e avaliar o desempenho de brocas de aço-rápido M2 sob condições convencionais de aplicação de fluido lubri-refrigerante e sob condições severas, com MQF e com aplicação de ar comprimido, no processo de furação do aço DIN 1.2711 endurecido.

## 2. Procedimento Experimental

Os ensaios experimentais foram realizados em um Centro de Usinagem Dyna Myte, modelo DM 4500, com rotação máxima no eixo-árvore de 6.000 rpm e potência de 7,5 kW. O corpo-de-prova de aço DIN 1.2711, similar ao AISI/ABNT ~P20 hh, com dureza entre 38 e 43 HR<sub>C</sub>, foi fixado a zero grau (0°) em relação à mesa da máquina-ferramenta. A tabela 1 mostra a composição química básica do material utilizado nos ensaios experimentais.

Tabela 1. Composição química do aço DIN 1.2711 (Fonte: Swiss Steel International).

C [%]	Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]	V [%]
0,55	1,10	0,50	1,70	0,10

O processo de furação, com brocas helicoidais de aço-rápido M2, de diâmetro de 8 mm, foi realizado em cheio, sem furo de centro ou pré-furo, com utilização do avanço intermitente (ciclo pica-pau) para facilitar a saída do cavaco. A profundidade de cada furo usinado correspondeu a 40 mm (cinco vezes o diâmetro da broca). A figura 1 ilustra um momento da realização de um furo sob condição de aplicação de MQF.

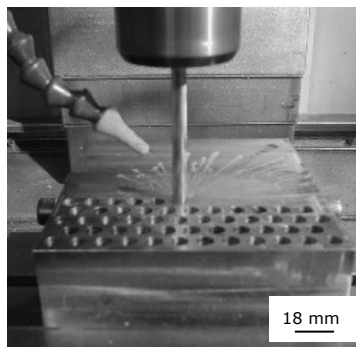


Figura 1. Processo de furação.

Para a utilização de parâmetros tecnológicos de entrada mais adequados (velocidade de corte –  $v_c$ , avanço por gume –  $f_z$  e incremento do avanço intermitente –  $i$ ) realizaram-se pré-ensaios de variação destes parâmetros. A tabela 2 mostra a variação dos parâmetros de corte utilizados nos ensaios preliminares.

Tabela 2. Variação dos parâmetros de corte realizada em pré-teste.

$v_c$ [m/min]	$f_z$ [mm]	$i$ [mm]
7; 10; 12 e 15	0,017; 0,025; 0,030 e 0,080	1; 1,5 e 3

Após a análise do comportamento de desgaste das ferramentas nos pré-testes foram definidos os parâmetros de corte para a utilização no ensaio de vida das brocas sob condições de aplicação de diferentes fluidos lubri-refrigerantes. No ensaio de vida foram realizados três testes para cada condição avaliada. A tabela 3 mostra os parâmetros selecionados.

Tabela 3. Parâmetros de corte selecionados para os ensaios.

$v_c$ [m/min]	$f_z$ [mm]	$i$ [mm]
12	0,017	1,5

As brocas foram ensaiadas sob condições de aplicação de fluido em abundância (emulsão com concentração de 10%, pressão de 4 bar e vazão de 500 l/h), aplicação externa de Mínimas Quantidades de Fluido – MQF (fluido sintético, pressão de 4 bar e vazão aproximada de 40 ml/h) e com aplicação de ar comprimido (ar filtrado com pressão de 4 bar). Em todos os ensaios teve-se o cuidado para que o eixo do bico de aplicação de fluido formasse um ângulo de trinta graus ( $30^\circ$ ), com um afastamento de 15 mm, em relação ao eixo de rotação da ferramenta.

A avaliação de desgaste foi realizada com base na vida da ferramenta. Dessa forma, as brocas foram monitoradas através dos critérios pré-definidos de fim de vida:  $VB_B = 0,20$  mm;  $VB_{Bmáx} = 0,60$  mm; ou pela ocorrência de intenso ruído (devido ao atrito causado pelo desgaste e arredondamento excessivo do gume) ou ainda pela formação de lascamento no gume, considerando o que ocorrer primeiro. Sendo assim, as brocas foram observadas e medidas a cada 2 furos. As análises e fotografias das ferramentas foram realizadas em um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV). Já as medições da marca de desgaste foram realizadas em um Microscópio Universal para medição e projeção.

### 3. Resultados e Discussão

A figura 2 ilustra a vida das ferramentas, em número de furos realizados, para as diferentes condições de aplicação de fluido testadas. Foram testadas três brocas por condição, sendo que para todas as ferramentas

ensaiadas, o critério de fim de vida registrado foi o intenso ruído, ocasionado pelo atrito excessivo do gume desgastado e também pela grande quantidade de adesão formada sobre o mesmo, dificultando a remoção do cavaco para fora do furo.

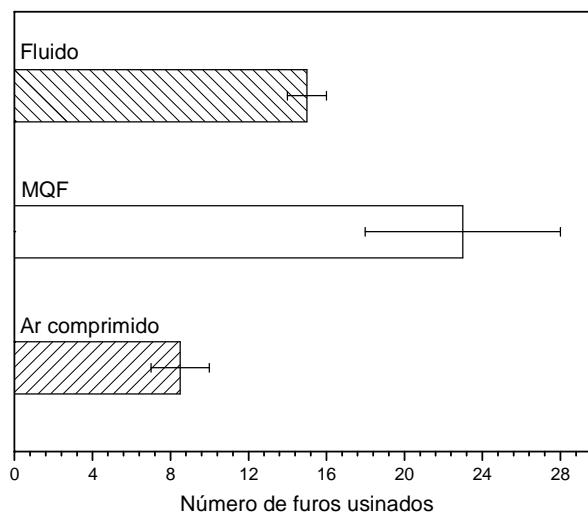


Figura 2. Gráfico da vida das ferramentas em número de furos usinados.

Os resultados mostram que, para a usinagem com aplicação externa de fluido em abundância – emulsão, foram usinados em média 15 furos (0,60 m) com uma dispersão de cerca de 7%. Na usinagem com aplicação externa de Mínimas Quantidades de Fluido foram realizados em média 23 furos (0,92 m), com uma dispersão aproximada de 22%. No entanto, para a condição de usinagem com aplicação de ar comprimido, realizaram-se em média 8,5 furos (0,34 m) com uma dispersão de aproximadamente 18%. A diferença no comportamento de vida das ferramentas está diretamente ligada com a condição de aplicação de fluido lubri-refrigerante. Na usinagem com aplicação de ar comprimido, o baixo número de furos está relacionado ao atrito excessivo causado pela ausência completa de um meio lubrificante, inclusive no apoio ao transporte do cavaco para fora do furo gerado. O cavaco, sem um meio auxiliar de transporte, apresenta uma maior dificuldade de escoar, formando uma massa que atrita intensamente entre os canais da broca e a parede do furo, gerando assim maior atrito e dificultando ainda mais o processo. Para a condição com aplicação de fluido em abundância, existe em parte uma refrigeração e lubrificação do sistema peça/ferramenta, no entanto, a variação térmica devido à ausência do fluido na região de corte, faz com que o mesmo, ao refrigerar a peça, que é de elevada dureza, retira a ação positiva do calor em facilitar o cisalhamento e o processo de formação do cavaco. Como consequência tem-se uma maior sollicitação e um maior desgaste na ferramenta. Porém, a maior vida média foi atingida na condição de aplicação externa de MQF. Para esta condição, apenas uma quantidade mínima de fluido lubri-refrigerante atinge a interface ferramenta/parede do furo, sendo suficiente para garantir uma mínima lubrificação através do efeito hidrostático, não apresentando o efeito da refrigeração com aplicação do fluido em abundância.

A figura 3 ilustra o desgaste de flanco da broca para o processo de furação com aplicação externa de fluido em abundância após a usinagem de 0,64 m (16 furos). Durante esta operação a ocorrência de um lascamento na região da quina da broca impossibilitou a medição do desgaste em um dos gumes. Dessa forma, ao final da execução de 0,56 m (14 furos) foram medidos valores de  $VB_B = 0,07$  mm e  $VB_{Bmáx} = 0,32$  mm.

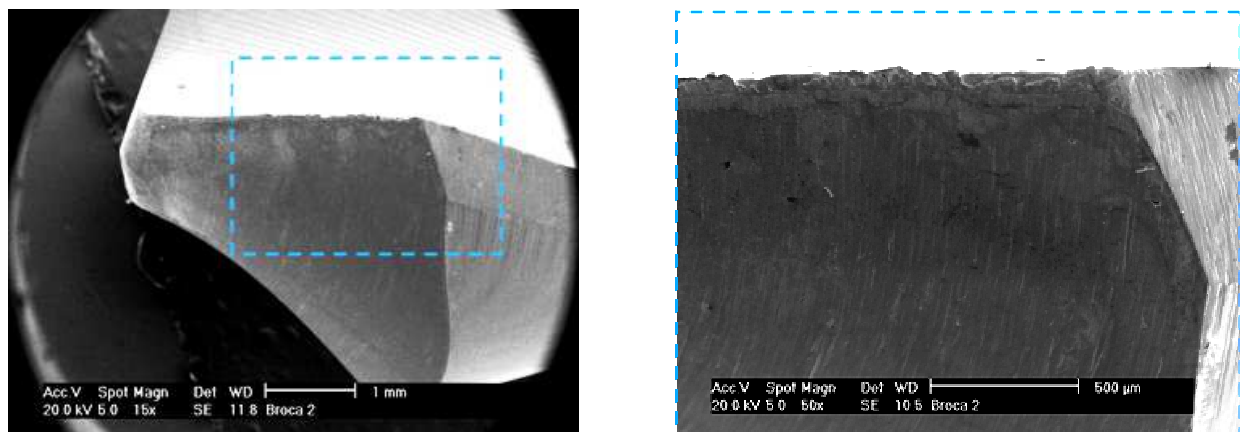


Figura 3. Desgaste de flanco da broca na usinagem com aplicação de fluido em abundância.

Na figura 3 verifica-se a pouca quantidade de aderência de material sobre o gume e sobre a quina da broca, devido à ação refrigerante e lubrificante da emulsão que mantém reduzida a temperatura da peça.

A figura 4 ilustra o desgaste de flanco da broca para o processo de furação com aplicação externa de MQF após a usinagem de 0,72 m (18 furos). Devido à grande quantidade de material aderido no gume não foi possível realizar a medição de desgaste para esta condição. Dessa forma, para um comprimento usinado de 0,64 m (16 furos) foram medidos valores de  $VB_B = 0,14$  mm e  $VB_{Bmáx} = 0,28$  mm. O fim de vida foi o intenso ruído devido ao arredondamento excessivo do gume, impossibilitando a continuidade dos ensaios.

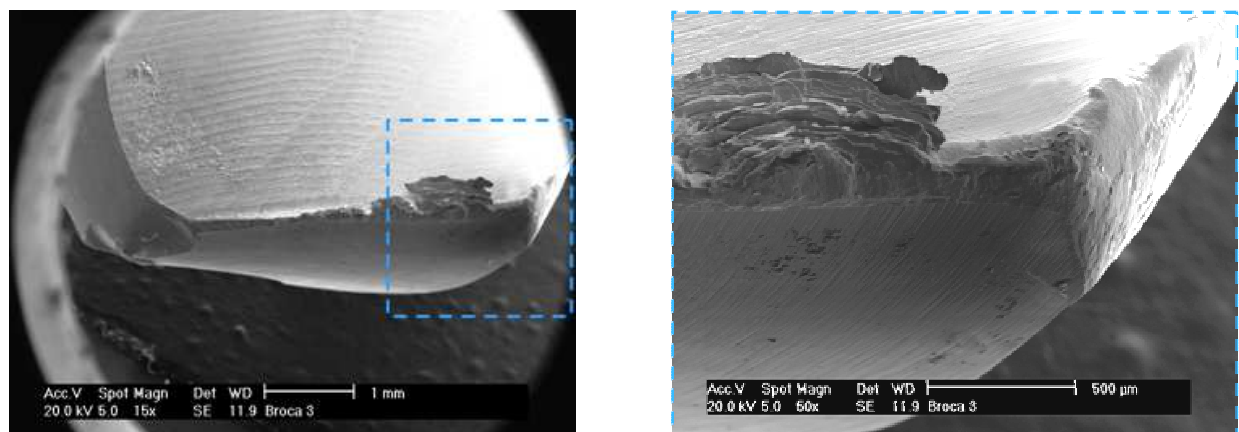


Figura 4. Desgaste de flanco da broca na usinagem com aplicação de MQF.

Na figura 4 pode ser constatada uma grande quantidade de aderência de material sobre o gume e sobre a guia da broca. Esta aderência pode ser explicada pela dificuldade do filme de óleo lubrificante em manter o efeito hidrostático em maiores profundidades de corte, para a condição de aplicação externa de MQF (Zeilmann, 2003). Além disso, percebe-se um arredondamento da quina da broca. A quina é a região de maior velocidade de corte e, dessa forma, maior temperatura. E, encontra-se apoiada em menos massa que o restante do gume, assim, apresenta a pior dissipação de calor e a solicitação térmica é mais severa, propiciando os mecanismos de desgaste.

A figura 5 ilustra o desgaste de flanco da broca após a usinagem com aplicação de ar comprimido para um comprimento de corte de 0,40 m (10 furos). Nesta condição ensaiada foram medidos valores de  $VB_B = 0,10$  mm e  $VB_{Bmáx} = 0,54$  mm.

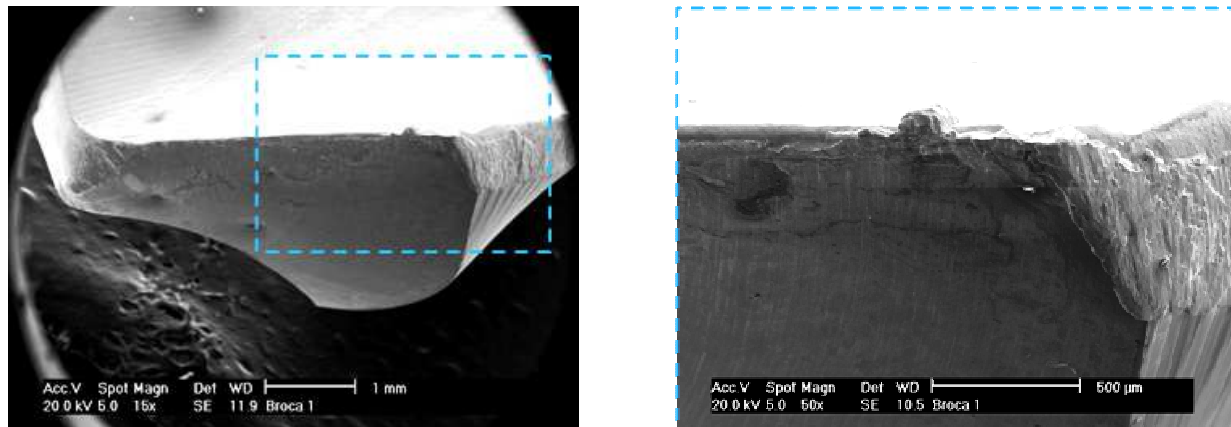


Figura 5. Desgaste de flanco da broca na usinagem com aplicação de ar comprimido.

Na figura 5 é possível visualizar a aderência de material no flanco e na guia da ferramenta. Na usinagem com aplicação de ar comprimido tem-se a condição de corte mais severa na furação, devido a maior temperatura ocasionada pelo atrito cavaco/ferramenta e guia/parede do furo. Dessa forma, as solicitações mecânicas e térmicas às quais o gume da broca é submetido são mais acentuadas, sendo os mecanismos de adesão e abrasão predominantes na formação do desgaste de flanco.

#### 4. Conclusão

Na avaliação dos estudos experimentais desenvolvidos neste trabalho, verificou-se que é possível realizar a redução da utilização dos fluidos lubri-refrigerantes no processo de furação profunda do aço DIN 1.2711, com dureza de 38 a 43 HR<sub>C</sub>. Na usinagem com MQF foram atingidas vidas médias superiores à furação com aplicação de fluido em abundância em 32% e superiores para a usinagem com aplicação de ar comprimido em 63%. Para todas as ferramentas ensaiadas, o critério de fim de vida registrado foi o intenso ruído, ocasionado pelo grande atrito do gume arredondado e desgastado. Dessa forma, o desgaste de flanco, foi predominante nos ensaios, sendo ocasionado, principalmente, pelo mecanismo de abrasão. Além disso, também se verificou a aderência de material sobre o gume e sobre a quina das ferramentas, porém, em menor quantidade para a aplicação de fluido em abundância, devido ao melhor efeito lubrificante e refrigerante.

#### 5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio financeiro da empresa Arwi Representações Comerciais Ltda., ao apoio da empresa Irwin Industrial Tool Ferramentas do Brasil Ltda., à Universidade de Caxias do Sul (UCS), à Fapergs e ao CNPq, pelo apoio com bolsas de iniciação científica.

## 6. Referências

- BELEJCHAK, P. 1997. Machining stainless steel. *Advancer Materials & Processes*, **12**:23-25.
- BRAGA, D.U.; DINIZ, A.E.; MIRANDA, G.W.A. e COPPINI, N.L. 2002. Using a minimum quantity of lubricant (MQL) and diamond coated tool in the drilling of aluminum-silicon alloys. *Journal of Materials Processing Technology*, **122**:127-138.
- GRASS, A. 1988. *Bohren faserverstärkter Duromere*. Aachen, Deutschland. Dissertation. RWTH.
- HOFF, M. 1986. *Analyse und Optimierung des Bohrprozesses*. Aachen, Deutschland. Dissertation. RWTH.
- HUTCHINGS, I.M. 1992. *Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials*. 2<sup>th</sup> ed., Boca Raton, CRC Press Inc., 273 p.
- KALPAKJIAN, S. e SCHMID, S.R. 2000. *Manufacturing Engineering and Technology*. 4<sup>th</sup> ed., New Jersey, Prentice-Hall Inc., 1148 p.
- KÖNIG, W. e KLOCKE, F. 2002. *Fertigungsverfahren - Drehen, Fräsen, Bohren*. 7<sup>a</sup> Auflage., Berlin, Springer-Verlag, 409 p.
- KLOCKE, F. e GERSCHWILER, K. 1996. *Trockenbearbeitung – Grundlagen, Grenzen, Perspektiven*. VDI Berichte 1240, 43 p.
- MACHADO, A.R. e DINIZ, A.E. 2000. Vantagens e desvantagens do uso (ou não) de fluidos de corte. *Revista Máquinas e Metais*, **419**:134-151.
- RUZICZKA, G. 1995. *Zerspanungsvorgänge beim Fräsbohren*. Stuttgart, Deutschland. Dissertation. Institut für Werkzeugmaschinen, Universität Stuttgart.
- STACHOWIAK, G.W. e BATCHELOR, A.W. 2001. *Engineering Tribology*. 2<sup>th</sup> ed., Woburn, Butterworth-Heinemann, 744 p.
- ZEILMANN, R.P. 2003. *Furação da liga de titânio Ti6Al4V com mínimas quantidades de fluido de corte*. Florianópolis, SC. Tese de Doutorado. UFSC, 207p.

Submissão: 19/05/2006

Aceite: 27/06/2006