

# DESGASTE DE BROCAS DE AÇO-RÁPIDO NA FURAÇÃO SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE APLICAÇÃO DE FLUIDOS LUBRI-REFRIGERANTES

**Maurício Calza**  
[calza.m@gmail.com](mailto:calza.m@gmail.com)

**Ricardo Santin**  
[rsantin@ucs.br](mailto:rsantin@ucs.br)

**Gerson Luiz Nicola**  
[glnicola@ucs.br](mailto:glnicola@ucs.br)

**Rodrigo Panosso Zeilmann**  
[rpzeilma@ucs.br](mailto:rpzeilma@ucs.br)

**Resumo:** *As indústrias de moldes e matrizes buscam frequentemente a melhoria nos processos de fabricação e a redução de seus custos. Nos processos de usinagem, a furação é uma das operações mais utilizadas, no entanto apresenta condições severas de usinagem que necessitam de uma melhor avaliação. 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. Porém, a eficiência do processo depende de diversos fatores, como o método de aplicação de fluido lubri-refrigerante e a utilização parâmetros de corte adequados. Dessa forma, este trabalho apresenta um estudo sobre o desempenho destas brocas sob condições severas de aplicação de fluidos lubri-refrigerantes na usinagem 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 de 8 mm usinou 0,60 m. Já na aplicação de Mínimas Quantidades de Fluido (MQF), a ferramenta usinou 0,92 m. No entanto, na usinagem com aplicação de ar comprimido, a broca usinou 0,34 m. Para todas as condições ensaiadas foram observadas marcas de abrasão nos gumes das brocas e adesão do material da peça.*

**Palavras-chave:** *aço DIN 1.2711, furação, MQF, ar comprimido, emulsão.*

## 1. INTRODUÇÃO

Na fabricação de moldes e matrizes há uma elevada competitividade industrial que é caracterizada pela necessidade de redução dos tempos de produção e dos custos. Nesse sentido, os processos de usinagem apresentam importância significativa em termos econômicos. 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 do processo de furação com brocas helicoidais no total dos processos de usinagem é avaliado na faixa de 20 a 25% e, atualmente, a broca é a ferramenta fabricada em maior quantidade e também a mais difundida para a usinagem <sup>(4)</sup>. Dessa forma, são importantes estudos sobre o comportamento em desgaste das ferramentas neste processo e a caracterização fenômenos

tribológicos que ocorrem sob condições severas de 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 <sup>(8)</sup>. Dessa maneira, está relacionada com os mecanismos e com 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 motivos 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 <sup>(3)</sup>. 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 de corte, além de causarem danos aos operadores e ao meio ambiente <sup>(9)</sup>. 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 corte com MQF, pelo qual uma quantidade ínfima de óleo é atomizada em um fluxo de ar comprimido <sup>(6)</sup>.

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 <sup>(1,2,7)</sup>, de forma a não haver mudança significativa das grandezas de saída.

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 <sup>(9,5)</sup>. 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 <sup>(5)</sup>.

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 menores resistências ao cisalhamento, requer a utilização de fluido lubri-refrigerante, pois, o calor gerado durante o corte aumenta a temperatura da ferramenta e, assim, reduz a sua resistência mecânica <sup>(6)</sup>. 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 sob diferentes condições de aplicação de fluido lubri-refrigerante, com MQF e com aplicação de ar comprimido, no processo de furação do aço DIN 1.2711.

## 2. METODOLOGIA

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 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 do material usinado.

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, já que foram realizados furos de 40 mm de profundidade (cinco vezes o diâmetro da broca), considerados como furos profundos. A figura 1 ilustra o processo de furação sob condição de aplicação de MQF.

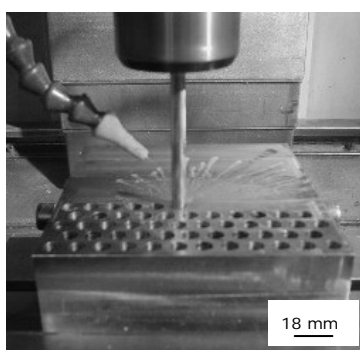


Figura 1: Processo de furação.

Para a utilização de parâmetros tecnológicos de entrada 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]	Incremento [mm]
7; 10; 12; 15	0,017; 0,030; 0,060; 0,080	1,0; 1,5; 3,0

Após a análise do comportamento de desgaste das ferramentas e da qualidade superficial dos furos obtidos 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 ensaios 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]	Incremento [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 MQF (fluido sintético, pressão de 4 bar e vazão aproximada de 40 ml/h) e com aplicação de ar comprimido (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 da vida da ferramenta foi realizada com base no desgaste da mesma. Dessa forma, as brocas foram monitoradas através dos critérios pré-estipulados de fim de vida:  $VB_B = 0,20$  mm;  $VB_{B_{máx}} = 0,60$  mm; ou pela ocorrência de intenso ruído (devido ao atrito causado pelo desgaste e arredondamento 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 realizados. 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

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 grande atrito da quina desgastada e também pela quantidade de adesão formada sobre o gume.

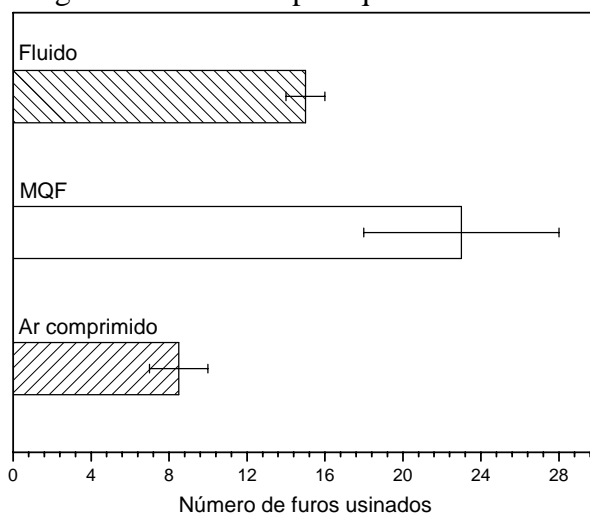


Figura 2: Gráfico da vida das ferramentas em número de furos usinados.

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 – MQF 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 fluidos lubri-refrigerantes. Na usinagem com aplicação de ar comprimido o baixo número de furos está relacionado ao atrito excessivo, pela ausência completa de um meio lubrificante, inclusive no apoio ao transporte do cavaco para fora do furo gerado, pois sem um meio auxiliar de transporte, o cavaco apresenta uma maior dificuldade de escoar, ocorrendo atrito entre os canais da broca e a parede do furo gerando maior temperatura e dificultando 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, retire a ação positiva do calor em facilitar o cisalhamento e corte do material. Como consequência, tem-se uma maior sollicitação mecânica abrasiva 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 pequena quantidade de fluido lubri-refrigerante atinge a interface ferramenta/parede do furo, no entanto, 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 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.

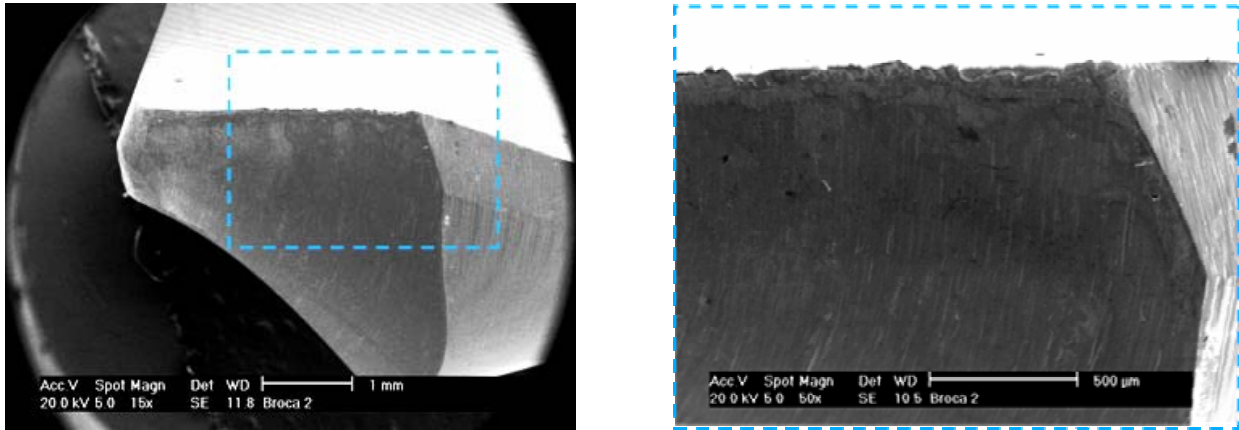


Figura 3: Desgaste de flanco da broca na usinagem com aplicação de fluido em abundância.

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 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.

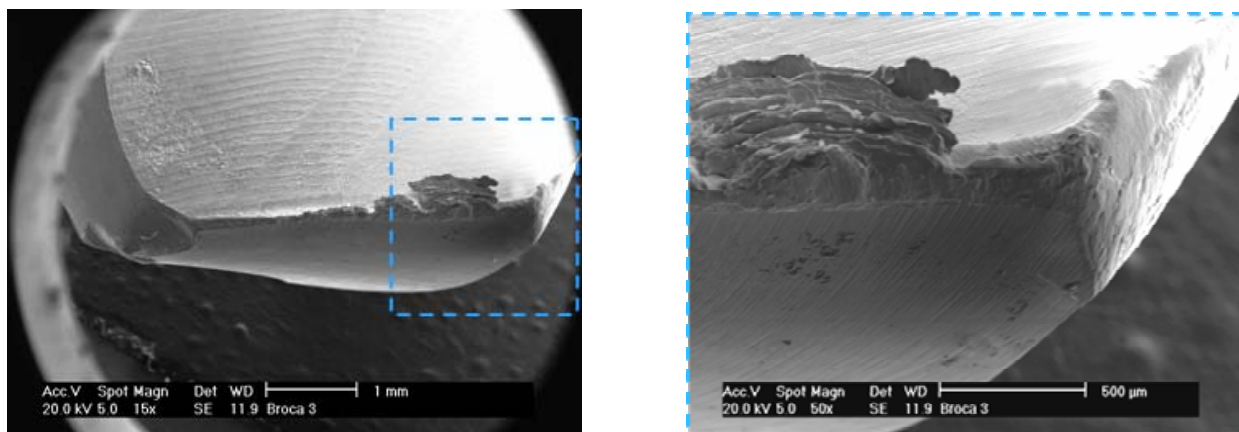


Figura 4: Desgaste de flanco da broca na usinagem com aplicação de MQF.

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 atingir a região de corte em profundidades maiores que uma vez o diâmetro da broca, para aplicação externa de MQF<sup>(9)</sup>. 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 solitação térmica é mais severa.

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.

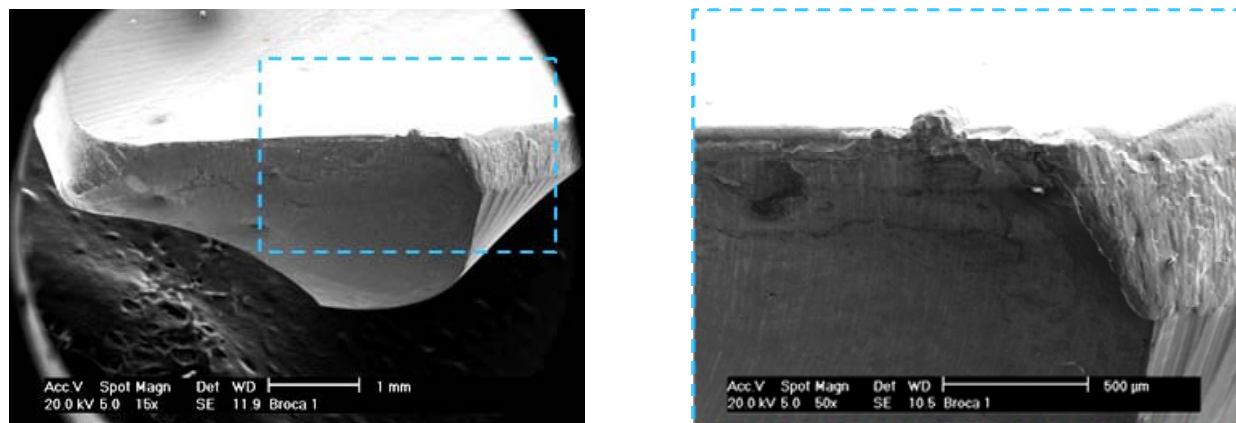


Figura 5: Desgaste de flanco da broca na usinagem com aplicação de ar comprimido.

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 da broca/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 abrasão e adesão predominantes na formação do desgaste de flanco.

#### 4. CONCLUSÕES

Na avaliação dos resultados verificou-se que é possível realizar a redução da utilização de 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 da quina desgastada e arredondada. 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 lubri-refrigerante.

#### 5. AGRADECIMENTOS

---

Os autores agradecem à empresa financiadora deste projeto, Arwi Representações Comerciais Ltda., ao apoio da empresa Irwin Industrial Tool Ferramentas do Brasil Ltda. e ao CNPq pelo apoio com bolsa de iniciação científica.

#### 6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

1. GRASS, A. **Bohren faserverstärkter Duromere**. Dissertation RWTH Aachen, 1988.
2. HOFF, M. **Analyse und Optimierung des Bohrprozesses**. Dissertation RWTH Aachen, 1986.
3. HUTCHINGS, I.M. **Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials**. 2<sup>th</sup> ed. CRC Press, Inc. Boca Raton, 1992.

4. KÖNIG, W., KLOCKE, F. **Fertigungsverfahren - Drehen, Fräsen, Bohren. Springer-Verlag.** 7.Auflage.Berlin, 2002.
5. KLOCKE, F.; GERSCHWILER, K. **Trockenbearbeitung - Grundlagen, Grenzen, Perspektiven.** VDI Berichte 1240. p. 1 – 43, 1996
6. MACHADO, A.R., DINIZ, A.E. **Vantagens e desvantagens do uso (ou não) de fluidos de corte.** Revista Máquinas e Metais, n 419, p. 134-151, 2000.
7. RUZICZKA, G. **Zerspanungsvorgänge beim Fräsbohren.** Dissertation Institut für Werkzeugmaschinen, Universität Stuttgart, 1995.
8. STACHOWIAK, G.W.; BATCHELOR, A.W. **Engineering Tribology.** 2<sup>th</sup> ed. Butterworth-Heinemann. Woburn, 2001.
9. ZEILMANN, R.P. **Furação da liga de titânio Ti6Al4V com mínimas quantidades de fluido de corte.** Tese de Doutorado, UFSC, Florianópolis, 2003.

# TOOL WEAR IN DRILLING WITH DIFFERENT APPLICATION OF CUTTING FLUID

**Maurício Calza**  
[calza.m@gmail.com](mailto:calza.m@gmail.com)

**Ricardo Santin**  
[rsantin@ucs.br](mailto:rsantin@ucs.br)

**Gerson Luiz Nicola**  
[glnicola@ucs.br](mailto:glnicola@ucs.br)

**Rodrigo Panosso Zeilmann**  
[rpzeilma@ucs.br](mailto:rpzeilma@ucs.br)

**Abstract:** *The industries of molds and dies frequent search the improvement in the processes of manufacture and the reduction of its costs. In the machining processes, the drilling is one of the most used operations, however it presents severe conditions of machining that need one better evaluation. Had to the low cost of the high-speed-steel drills, part of the companies still uses this type of tool in drilling of difficult machining steels. However, the efficiency of the process depends on diverse factors, as the method of cutting fluids application and the use adequate of cutting parameters. Of this form, this work presents a study on the performance of these drills under severe conditions of cutting fluid application in machining of DIN 1.2711 steel with hardness between 38 and 43 HRc. Under conditions of fluid application in abundance, the drill with diameter of 8 mm machined 0,60 m. Already in the application of Minimal Quantity of Lubricant (MQL), the tool machined 0,92 m. However, in the machining with air application, the drill machined 0,34 m. For all the experiments conditions had been observed abrasion marks and adhesion on the edge.*

**Key-words:** *DIN 1.2711 steel, drilling, MQL, dry machining, emulsion.*