

## **ESTUDO DA FORMAÇÃO DE CAVACO NA FURAÇÃO A SECO DO AÇO AISI P20 ENDURECIDO**

**Rodrigo P. Zeilmann, rpzeilma@ucs.br<sup>1</sup>**  
**Tiago Vacaro, tvacaro@ucs.br<sup>1</sup>**  
**Rafael Soares, rmssoares@ucs.br<sup>1</sup>**  
**Cleiton R. Teixeira, cleitonteixeira@furg.br<sup>2</sup>**  
**Roland Heiler, Roland.Heiler@HTW-Berlin.de<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Universidade de Caxias do Sul, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130, 95001-970, Caxias do Sul, Brasil.

<sup>2</sup>Universidade Federal do Rio Grande (FURG), Rio Grande, Brasil.

<sup>3</sup>Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW), Berlin, Alemanha.

**Resumo:** *A adequação dos processos de usinagem com o intuito de eliminar a utilização de fluidos lubrificantes na usinagem é complexa, principalmente nas operações de furação, devido às particularidades que caracterizam este processo. Com a retirada do meio lubrificante, ocorre um aumento do atrito entre a broca, a peça e o cavaco, e conseqüentemente uma maior quantidade de calor é gerada pelo processo. Sendo assim, para a viabilização da furação a seco, é necessário avaliar a interface de contato entre a ferramenta e a peça, de forma a identificar as alterações geradas pela ausência do fluido lubrificante. Durante a realização de testes a seco utilizando brocas de metal-duro, na furação de aço endurecido, foram observados problemas no escoamento do cavaco gerado pelo processo, causando o entupimento dos canais das brocas, e a conseqüente quebra prematura das mesmas. Para investigar estes problemas, foi realizada uma análise microscópica em uma broca quebrada alojada no interior do furo. Realizando o embutimento em resina de um cilindro contendo a parede do furo e a broca, foi viabilizado o corte do conjunto de forma a avaliar o contato entre a peça e a ferramenta em diferentes profundidades do furo. Por meio desta análise foi verificada a ocorrência de corte do material pelas guias da broca, sendo este mecanismo prejudicial ao processo, pois estes elementos da ferramenta não são projetados para realizar o corte principal do material. A partir destes resultados, a estratégia de usinagem empregada no processo foi modificada, o que proporcionou uma melhora significativa no escoamento do cavaco e o cessamento das quebras de ferramentas.*

**Palavras-chave:** *usinagem, broca, fluido lubrificante, desgaste.*

### **1. INTRODUÇÃO**

Os fluidos lubrificantes constituem uma fonte de poluição para a água, o solo e o ar, o que é causado por vazamentos e perdas por arraste, emissões, águas de lavagem e o seu descarte. Componentes dos fluidos lubrificantes, bactericidas e fungicidas, produtos decorrentes de reação, bem como contaminantes, podem causar doenças, principalmente de pele. Além disso, pesquisas sobre os perigos à saúde provenientes dos vapores de óleo apontam riscos de danos às vias respiratórias. Por meio de leis cada vez mais rigorosas, as associações de representação buscam proteger os trabalhadores e o meio ambiente dos danos causados pelos fluidos lubrificantes. Para as empresas, estas orientações legais significam não apenas um aumento das suas responsabilidades para seus funcionários, mas também maiores encargos financeiros. Uma abordagem para resolver o problema é o emprego da usinagem a seco ou do corte com mínimas quantidades de lubrificante (MQL). Esta mudança requer uma adaptação cuidadosa das condições de corte, porque as funções primárias do fluido lubrificante, tais como lubrificação, refrigeração e remoção de cavacos, precisam ser compensadas (Heisel e Schaal, 2009).

A formação do cavaco e sua morfologia são características importantes da usinagem de metais, e fornecem informações relevantes sobre o processo de corte (Sun et al., 2009). Com uma maior compreensão dos mecanismos de formação de cavacos e dos mecanismos de transporte, podem ser definidas condições de corte que produzam cavacos no tamanho adequado, reduzindo a necessidade do fluido. Na operação de furação, cavacos de tamanhos pequenos e bem quebrados são desejáveis. Isto porque, à medida que aumenta o tamanho dos cavacos, eles escoam com maior dificuldade através dos canais, o que aumenta os requisitos de torque, podendo causar a quebra da broca (Batzer et al., 1998). Cavacos longos também podem ficar emaranhados em torno da broca, podem levar à má qualidade do furo, e são

mais difíceis de serem geridos quando retirados do furo, aumentando assim os custos de produção e reduzindo a produtividade (Degenhardt et al., 2005).

A furação tem um processo de remoção de material complexo, e a alta temperatura e a tensão de cisalhamento concentrada nas zonas de cisalhamento tendem a influenciar as propriedades mecânicas do material. Durante a formação do cavaco, a velocidade de corte e o ângulo de saída variam ao longo do gume da broca. Como resultado, uma complexa morfologia do cavaco é formada em diferentes etapas do processo (Li et al., 2008).

Na furação, a formação do cavaco não está concluída quando o cavaco deixa o gume. Apesar de apresentar a forma inicial de cone espiral, o cavaco tende a ter sua forma alterada ao longo do processo, devido às interações com os canais da broca e a parede do furo. Quando os cavacos são inicialmente gerados, devido ao fato de a região próxima ao centro do gume se mover mais lentamente do que a região externa, o cavaco na região interna é mais curto do que o cavaco externo. Essa diferença no comprimento do cavaco força o fluxo para o centro da broca, em vez de perpendicular ao gume. Além disso, a parte central do canal da broca força o cavaco para enrolar e formar uma espiral. No entanto, quando os cavacos espirais se movem no canal da broca, eles têm que constantemente girar sobre seu próprio eixo, a fim de manter a sua forma. Este movimento de rotação faz com que os cavacos espirais tenham dificuldade em manter a sua forma à medida que o furo fica mais profundo. Se os cavacos não conseguem acompanhar o movimento de rotação, eles se quebram ou são forçados a se mover ao longo do canal sem girar, e geram os cavacos na forma de fitas lamelares. Durante a transição de cavacos em espiral para a forma de fitas lamelares, existem alguns tipos de formas intermitentes, dependendo do material, espessura do cavaco e tamanho da broca (Ke et al., 2005; 2006).

Assim, o sucesso de uma operação de furação depende muito da capacidade de produção de cavacos que podem ser rapidamente removidos do furo. Nesse contexto, para a viabilização da furação a seco, é necessário avaliar a interface de contato entre a ferramenta e a peça, de forma a identificar as alterações geradas pela ausência do fluido lubrificante. Com este objetivo, este trabalho apresenta um estudo da formação de cavaco na furação a seco do aço P20 endurecido. Após um levantamento preliminar de problemas no escoamento do cavaco, análises metalográficas e microscópicas possibilitaram determinar as causas dos problemas observados.

## 2. METODOLOGIA

Os ensaios foram realizados em um Centro de Usinagem Okuma, modelo Ace Center MB – 46 VAE, com rotação máxima no eixo-árvore de 15.000 rpm e potência de 18,5 kW. Para a observação das ferramentas e análises de formação do cavaco, utilizou-se um estereoscópio modelo TNE-10B, da marca Entex. Nas análises metalográficas foi empregado um microscópio óptico Nikon Epiphot 200. A Fig. (1) apresenta os equipamentos utilizados.

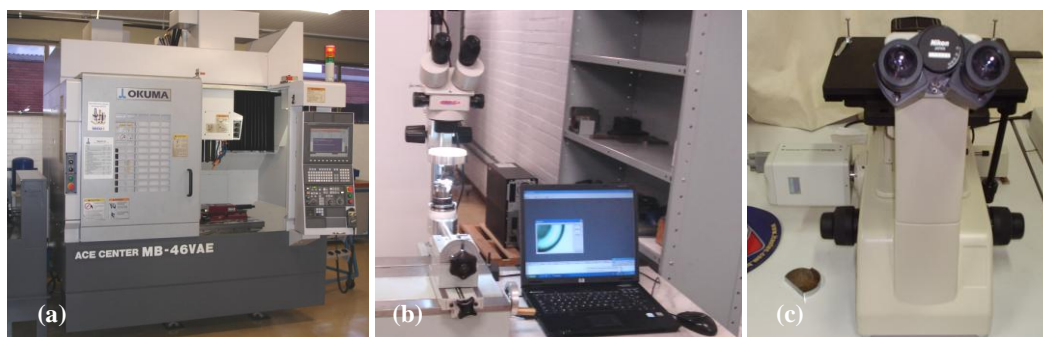


Figura 1. Fotografias do Centro de Usinagem (a), do estereoscópio (b) e do microscópio óptico (c).

O material dos corpos-de-prova utilizados no ensaio foi o aço AISI P20, com dureza entre 36 e 38 HR<sub>c</sub>. As ferramentas utilizadas foram brocas helicoidais inteiriças de metal-duro, DIN 6537K, de 8,5 mm de diâmetro, com dois gumes e revestidas com nitreto de titânio alumínio (TiAlN), fornecidas pela empresa Walter AG Company.

Parte das brocas foi utilizada na condição padrão, enquanto que algumas das brocas ensaiadas tiveram os canais polidos. Para realizar o procedimento foi utilizada uma esponja abrasiva, fornecida pelo fabricante das ferramentas. Antes de efetuar o polimento, as brocas foram lavadas em um equipamento de ultrassom, utilizando uma solução de água destilada e detergente. No processo de polimento, o material abrasivo foi friccionado manualmente sobre os canais das brocas, utilizando força moderada e realizando movimentos da base para a ponta da ferramenta.

A Fig. (2) mostra a ferramenta utilizada nos ensaios.

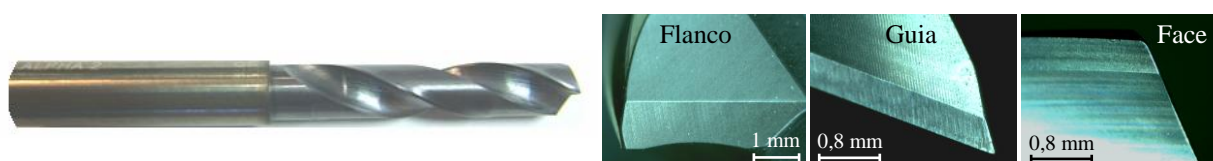


Figura 2. Fotografias da ferramenta utilizada nos ensaios.

Os ensaios foram realizados sem aplicação de fluido lubrificante (usinagem a seco). A estratégia de furação empregada foi a furação em cheio, sem pré-furos. O ciclo de furação utilizado foi o direto, ou seja, furação contínua. A profundidade dos furos foi de 3 vezes o diâmetro e a distância entre furos foi de 1,5 vezes o diâmetro.

Os parâmetros de corte aplicados nos ensaios, definidos com base em recomendações do fabricante das ferramentas, foram a velocidade de corte ( $v_c$ ) de 40 m/min e o avanço ( $f$ ) de 0,1 mm.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os ensaios de usinagem realizados resultaram na quebra de uma série de ferramentas. Uma análise preliminar apontou alguns problemas com o escoamento do cavaco. Como mostra a Fig. (3-a), o fluxo de cavaco não foi adequado e foi verificada a presença de cavaco aderido nos canais da broca. Outro problema observado foi a ocorrência de microlascamentos nas guias e fluxo de cavaco na direção das mesmas, como pode ser visto na Fig. (3-b). Nesta figura também pode ser visualizada a adesão de cavaco na guia da ferramenta.

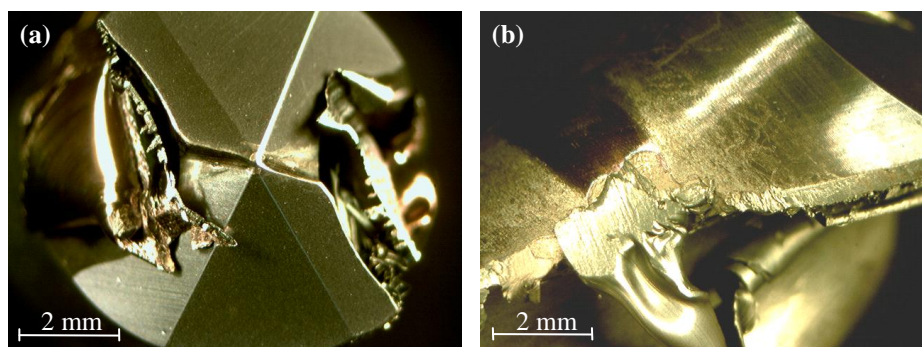


Figura 3: Cavaco aderido nos canais da broca (a) e microlascamentos na guia (b).

Com o intuito de melhorar o escoamento do cavaco, os canais de algumas brocas foram polidos, para reduzir o atrito da superfície dos canais e, dessa forma, facilitar a expulsão do cavaco. Porém, as ferramentas polidas não apresentaram melhores resultados, e foram observados os mesmos problemas apresentados pelas ferramentas não-polidas. A Fig. (4) apresenta imagens de uma broca ensaiada que passou pelo processo de polimento. Podem ser visualizadas nas imagens a ocorrência de microlascamentos na guia (Fig. (4-a)) e a adesão de cavaco na guia e no canal da broca (Fig. (4-b)).

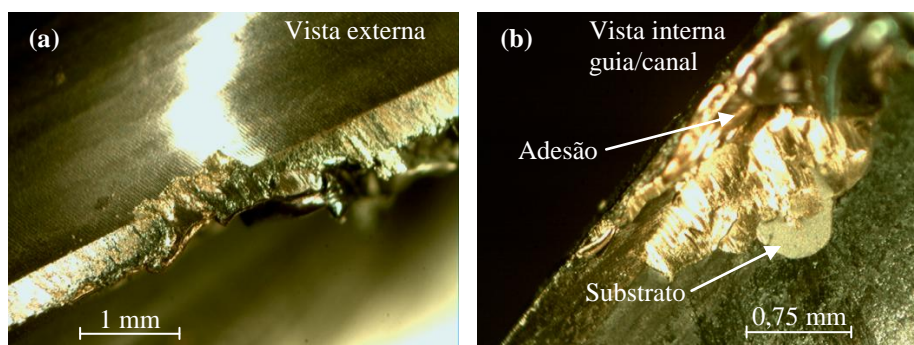
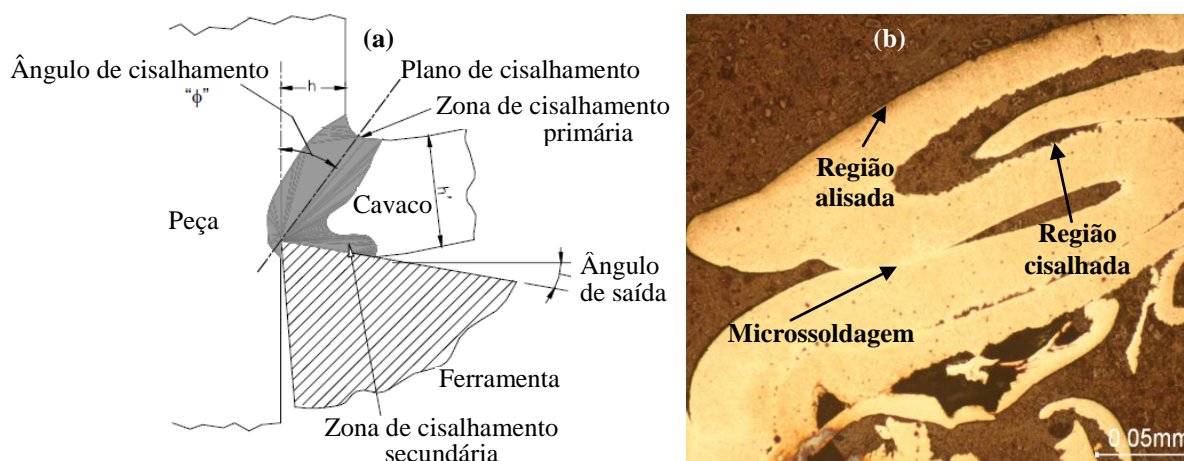


Figura 4: Microlascamentos na guia, vista externa (a) e interna (b), de uma broca polida.

Portanto, uma análise mais detalhada da formação do cavaco tornou-se necessária. Com esse objetivo, amostras de cavaco foram preparadas para análise metalográfica. Cavacos aderidos ao longo dos canais de brocas ensaiadas foram removidos e embutidos de forma a analisar sua seção transversal. Os cavacos removidos encontravam-se aderidos desde o gume da ferramenta. Portanto, a partir da altura da amostra preparada, foi possível controlar a altura da seção analisada em relação ao topo da broca. As análises foram realizadas a partir da região do cavaco próxima ao topo da ferramenta e, após cada análise, a amostra foi lixada de modo a remover 1 mm na altura. Assim, as seções transversais do cavaco foram analisadas em profundidades com intervalos de 1 mm.

A partir da análise das seções, verificou-se que nas relativas às profundidades entre 3 e 6 mm abaixo do topo foi observado um maior fator de empacotamento do cavaco. É interessante observar que esse intervalo de profundidades corresponde à região da broca onde foram observados os microlascamentos nas guias. A Fig. (5-a) apresenta de forma esquemática a mecânica do corte e as zonas de cisalhamento, para um melhor entendimento dos resultados apresentados na Fig. (5-b), que apresenta a seção transversal do cavaco relativa à profundidade de 3 mm abaixo do topo da broca.

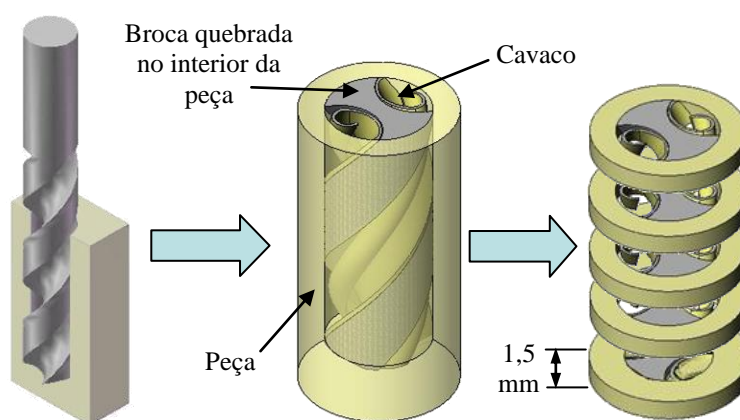


**Figura 5: Zonas de cisalhamento (a) (Costa, 2004) e a seção transversal do cavaco relativa à profundidade de 3 mm abaixo do topo da broca (b).**

Podem ser observados na Fig. (5-b) o empacotamento desordenado do cavaco e pontos de microssoldagem, bem como as diferentes regiões (alisada e cisalhada) resultantes da formação do cavaco. Durante a usinagem, o material removido pode apresentar diversas alterações, como deformações plásticas, aumento de dureza e formação de camada branca. A região cisalhada é resultante da zona primária de cisalhamento e, portanto, é submetida a severo encruamento. A região alisada corresponde à zona de cisalhamento secundária, e o material é submetido à elevada compressão e atrito contra a face da ferramenta. Sob condições severas de pressão e temperatura, essa região pode desenvolver a chamada camada branca, caracterizada por elevadas deformações plásticas e alta dureza. Assim, as regiões cisalhada e alisada apresentam alterações metalúrgicas que tendem a aumentar a dureza do cavaco (Ning et al., 2008). Esse aumento de dureza torna mais difícil o escoamento do cavaco para fora do furo.

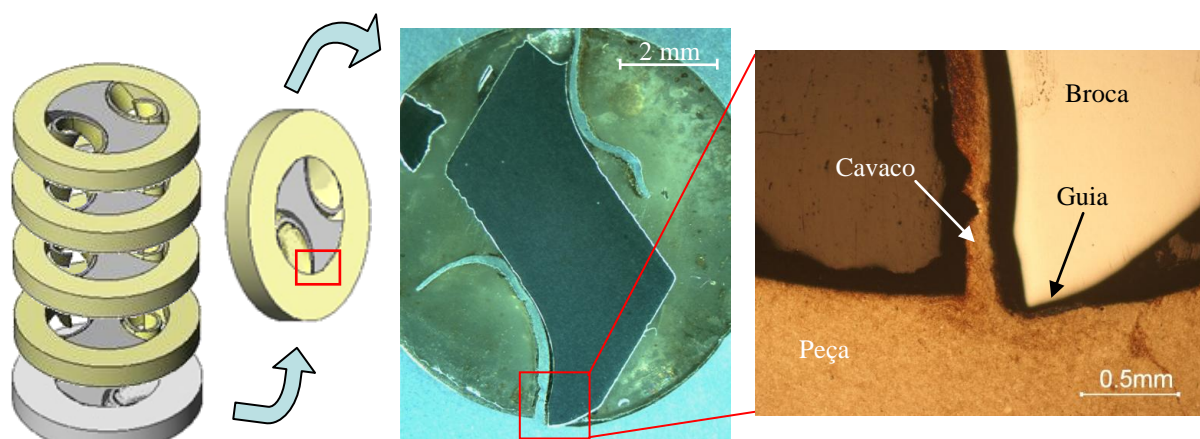
As regiões cisalhada e alisada, por apresentarem elevada resistência mecânica e devido às forças geradas pela compressão e desgaste mecânico, causam aumento da temperatura da região. Assim, as três condições necessárias para a formação da camada branca estão presentes: compressão, atrito e temperaturas elevadas (Sharman et al., 2008). O atrito das regiões de elevada dureza com a parede do furo provoca dificuldades no escoamento do cavaco, resultando em incremento de volume, que compromete o escoamento do cavaco para fora do furo. A acumulação do cavaco causa a obstrução dos canais e a conseqüente quebra das ferramentas.

Entretanto, embora esta análise tenha mostrado a ocorrência de elevadas cargas de compressão e atrito no cavaco, não apontou a causa destes problemas. Portanto, uma análise complementar foi feita com uma broca quebrada alojada no interior do furo. Um cilindro contendo a parede do furo, a broca quebrada e o cavaco foi removido do corpo-de-prova. Este cilindro foi embutido em uma resina de cura a frio, o que viabilizou o corte do conjunto de forma a avaliar o contato entre a peça e a ferramenta em diferentes profundidades do furo. Foram cortadas seções a cada 1,5 mm, mantendo a posição da ferramenta e do cavaco no interior do furo. O objetivo desta análise foi avaliar a formação do cavaco e a condição da interface ferramenta/cavaco/peça para investigar a causa do elevado fator de empacotamento do cavaco. A Fig. (6) ilustra o procedimento realizado.



**Figura 6. Preparação das amostras para análise da interface ferramenta/peça/cavaco.**

As seções foram analisadas e um comportamento inesperado foi observado. Como pode ser visto na Fig. (7), que mostra a seção distante 1,5 mm da ponta da broca, o corte do cavaco é realizado pelas guias. Porém, esses elementos da ferramenta não são projetados para realizar o corte principal do material.

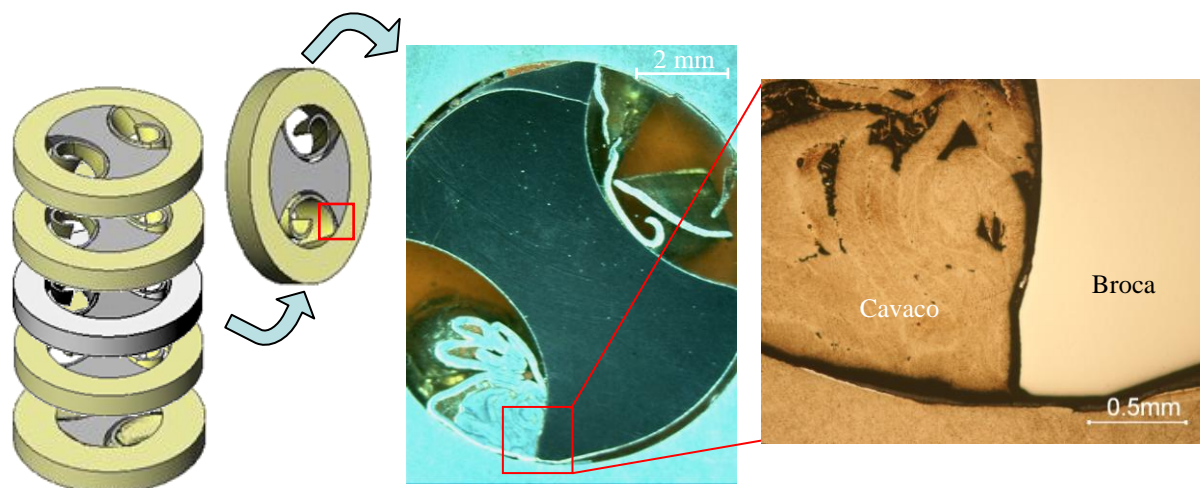


**Figura 7. Seção distante 1,5 mm da ponta da broca.**

Uma das hipóteses sugeridas é que o desgaste das quinas da broca pode ter levado a uma redução do diâmetro da ferramenta entre as guias. Dessa forma, o diâmetro entre as guias seria maior e levaria ao corte do material por estes elementos. Entretanto, embora tenha sido observada a realização de corte por parte das guias, também houve corte nos gumes principais. Dessa forma, não é possível afirmar que apenas o desgaste das quinas tenha sido responsável pela realização de corte por parte das guias. É mais adequado afirmar que esse fato foi resultante do desgaste das quinas associado com o inadequado escoamento do cavaco gerado pelos gumes principais, em função da ausência do fluido lubrificante. Assim, têm-se o acúmulo de cavaco nos canais que, não conseguindo escoar, busca saída pela lateral da broca.

Na condição observada na Fig. (7), as guias constituem os elementos principais de corte da broca, o que implica em uma mudança nos planos de cisalhamento em relação ao eixo axial da ferramenta, transferindo o plano de cisalhamento primário (vide Fig. (5-a)) para as guias. Essa mudança força o cavaco a escoar em direção à parede do furo, ao invés de seguir a trajetória helicoidal ao longo do canal da broca. Isso resulta em um atrito intenso com a parede do furo e altas cargas de compressão sobre o cavaco, gerando o elevado fator de empacotamento do cavaco e os microlascamentos observados nas guias.

Prosseguindo com a análise, a Fig. (8) apresenta a seção distante 4,1 mm da ponta da broca.



**Figura 8. Seção distante 4,1 mm da ponta da broca.**

É possível observar o elevado empacotamento do cavaco. O escoamento comprometido faz com que sucessivas camadas de cavaco acabem dobrando-se umas sobre as outras e sejam comprimidas entre o canal da broca e a parede do furo, gerando um aumento de volume que compromete ainda mais o fluxo do cavaco.

Na Fig. (9) é mostrada a seção distante 9,3 mm da ponta da broca.

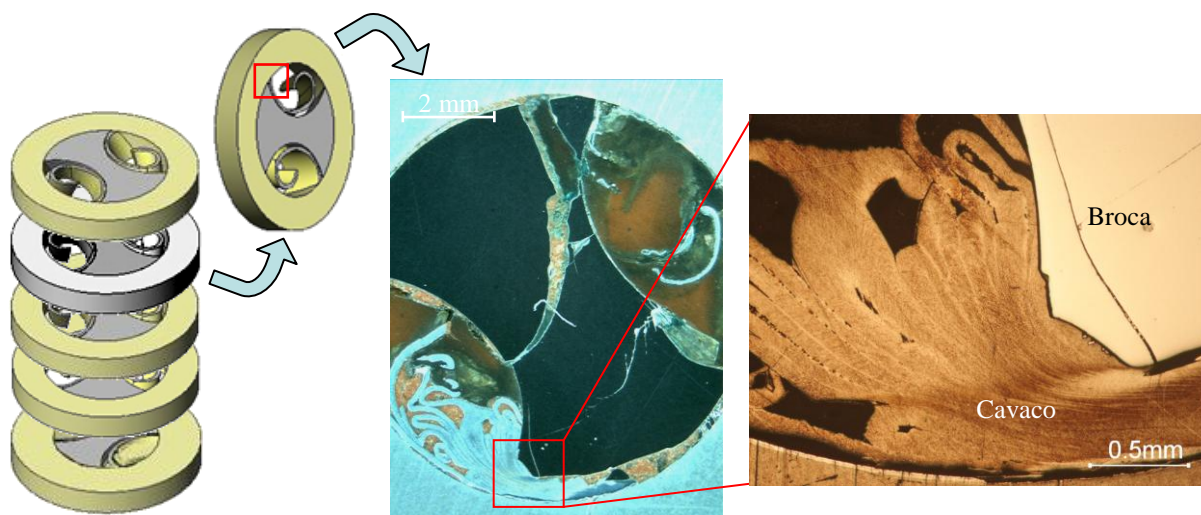


Figura 9. Seção distante 9,3 mm da ponta da broca.

Como pode ser observados nas imagens, há um grande volume de cavaco acumulado entre a broca e a parede do furo. Esse acúmulo de cavaco acabou formando um obstáculo à rotação da broca. Assim, ocorre um aumento brusco da exigência de torque e da força de avanço, levando ao conseqüente colapso da ferramenta (Degenhardt et al., 2005). Pode ser verificada na imagem da Fig. (9) a ruptura na região central da broca.

A Fig. (10) apresenta uma comparação esquemática entre a condição normal de formação de cavaco na furação e a condição observada nos ensaios realizados.

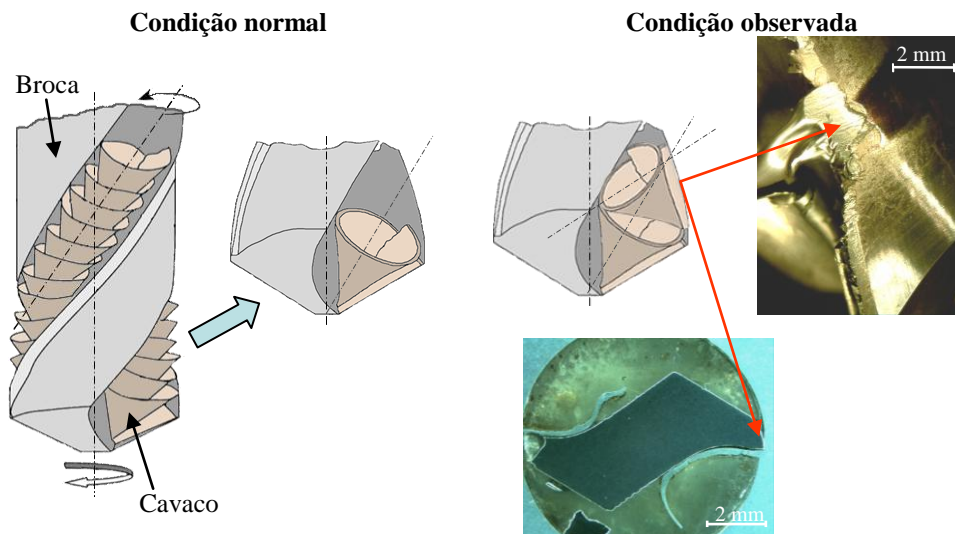


Figura 10. Condição normal (Adaptado de Ke et al., 2005) e a condição observada.

A condição normal apresenta o corte principal do material sendo realizado pelos gumes da broca, e o escoamento do cavaco seguindo a trajetória helicoidal dos canais da ferramenta. Já a condição observada nos ensaios apresenta o corte principal sendo realizado também pelas guias, elementos que não apresentam a robustez necessária para executar esta função, o que explica os microlascamentos observados. Assim, têm-se a geração de cavaco em duas regiões da ferramenta, gerando um volume de cavaco maior que a capacidade de escoamento do canal, levando aos elevados empacotamentos observados e demais problemas decorrentes.

Baseado nas análises realizadas, a estratégia de furação foi alterada de direta para intermitente, com incremento de 1,5 mm e recuo total para fora do furo. Esta mudança melhorou a expulsão do cavaco para fora do furo e, dessa forma, não foram mais observados microlascamentos nas guias e quebras de ferramentas. Entretanto, essa alteração da estratégia aumentou o tempo de furação em aproximadamente 150%. Esta situação exige uma análise de custo-benefício, que foge ao escopo deste trabalho.

#### 4. CONCLUSÕES

Ensaio preliminares de furação contínua sem aplicação de fluido lubrificante apresentaram problemas no escoamento no cavaco, com elevado fator de empacotamento, entupimento dos canais e quebras das ferramentas. Além disso, microlascamentos nas guias das brocas foram observados de forma sistemática.

Análises metalográficas realizadas em amostras de cavaco retiradas dos canais das brocas durante a realização dos ensaios indicaram a ocorrência de elevadas cargas de compressão e atrito no cavaco, gerando alterações metalúrgicas que provocam um significativo aumento de dureza do mesmo. O atrito das regiões de elevada dureza com a parede do furo provoca dificuldades no escoamento do cavaco, resultando em incremento de volume, que compromete o seu escoamento para fora do furo.

Uma análise complementar foi realizada com uma broca quebrada alojada no interior do furo. Os resultados desta análise apontaram o corte do material sendo realizado pelas guias da broca, o que é prejudicial ao processo, uma vez que estes elementos não são projetados para realizar o corte principal do material. Por não apresentarem a robustez necessária para exercer tal função, são explicados os microlascamentos observados nas guias das brocas. Essa condição também provocou a tendência de escoamento do cavaco em direção à parede do furo, ao invés de seguir a trajetória helicoidal dos canais da ferramenta, resultando em um atrito intenso com a parede do furo e altas cargas de compressão sobre o cavaco, gerando um elevado fator de empacotamento do cavaco. O empacotamento sucessivo gerou um aumento do volume de cavaco, que provocou o entupimento dos canais das brocas, levando as mesmas ao colapso.

A partir dos resultados obtidos, foi realizada uma alteração na estratégia de furação, que passou de direta para intermitente. Essa mudança provocou uma melhora significativa no escoamento do cavaco e o cessamento dos microlascamentos nas guias e das quebras de ferramentas.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade de Caxias do Sul, pelo apoio ao projeto *Dry Drilling*, e às empresas parceiras, Walter AG Company e Okuma Latino Americana Comércio Ltda.

#### 6. REFERÊNCIAS

- Batzer, S.A., Haan, D.M., Rao, P.D., Olson, W.W. and Sutherland, J.W., 1998, "Chip morphology and hole surface texture in the drilling of cast aluminum alloys", *Journal of Materials Processing Technology*, No. 79, pp. 72-78.
- Costa, E.S., 2004, "Furação de aços microligados com aplicação de mínima quantidade de fluido de corte – (MQF)", Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- Degenhardt, J.A., DeVor, R.E. and Kapoor, S.G., 2005, "Generalized groove-type chip breaker effects on drilling for different drill diameters and flute shapes", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, No. 45, pp. 1588-1597.
- Heisel, U. and Schaal, M., 2009, "Burr formation in short hole drilling with minimum quantity lubrication", *Production Engineering*, No. 3, pp. 157-163.
- Ke, F., Ni, J. and Stephenson, D.A., 2006, "Chip thickening in deep-hole drilling", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, No. 46, pp. 1500-1507.
- Ke, F., Ni, J. and Stephenson, D.A., 2005, "Continuous chip formation in drilling", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, No. 45, pp. 1652-1658.
- Li, R., Riester, L., Watkins, T.R., Blau, P.J. and Shih, A.J., 2008, "Metallurgical analysis and nanoindentation characterization of Ti-6Al-4V workpiece and chips in high-throughput drilling", *Materials Science and Engineering A*, No. 472, pp. 115-124.
- Ning, L., Veldhuis, S.C. and Yamamoto, K., 2008, "Investigation of wear behavior and chip formation for cutting tools with nano-multilayered TiAlCrN/NbN PVD coating", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, No. 48, pp. 656-665.
- Sharman, A.R.C., Amarasinghe, A. and Ridgway, K., 2008, "Tool life and surface integrity aspects when drilling and hole making in Inconel 718", *Journal of Materials Processing Technology*, No. 200, pp. 424-432.
- Sun, S., Brandt, M. and Dargusch, M.S., 2009, "Characteristics of cutting forces and chip formation in machining of titanium alloys", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, No. 49, pp. 561-568.

#### 7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

## **STUDY OF CHIP FORMATION IN DRY DRILLING OF HARDENED AISI P20 STEEL**

**Rodrigo P. Zeilmann, rpzeilma@ucs.br<sup>1</sup>**  
**Tiago Vacaro, tvacaro@ucs.br<sup>1</sup>**  
**Rafael Soares, rmssoares@ucs.br<sup>1</sup>**  
**Cleiton R. Teixeira, cleitonteixeira@furg.br<sup>2</sup>**  
**Roland Heiler, Roland.Heiler@HTW-Berlin.de<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>University of Caxias do Sul, Center of Exact Sciences and Technology, Francisco Getúlio Vargas Street, 1130, 95001-970, Caxias do Sul, Brazil.

<sup>2</sup>Federal University of the Rio Grande (FURG), Rio Grande, Brazil.

<sup>3</sup>Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW), Berlin, Germany.

**Abstract.** *Adequacy of machining processes in order to eliminate the use of cutting fluids in machining is complex, especially in drilling operations, due to the peculiarities that characterize this process. Removing the cutting fluid there is an increase of friction between drill, piece and chip, and therefore a greater amount of heat is generated by the process. Thus, for the feasibility of dry drilling, it is necessary to evaluate the contact interface between tool and workpiece in order to identify the changes generated by the lack of cutting fluid. During dry tests using carbide tools in drilling of hardened steel, problems were observed in the flow of chips generated by the process, causing the clogging of drills flutes, and the consequent premature tools breakage. To investigate these problems, a microscopic analysis of a broken drill stuck inside the hole was performed. A cylinder containing the hole wall and the drill was prepared with resin, what enable to cut the cylinder in order to evaluate the contact between the workpiece and the tool at different depths of the hole. This analysis revealed the occurrence of material cut by the drill margins, which is detrimental to the process, since these elements of the tool are not designed to do the main cutting of the material. From these results, the strategy employed in the machining process was modified, which provided a significant improvement in the flow of chips and stopped the tools breakage.*

**Keywords:** *machining, drill, cutting fluid, wear.*