

ESTUDO DA FURAÇÃO DE FERRO FUNDIDO NODULAR EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE LUBRIFICAÇÃO E REFRIGERAÇÃO

Fagner José Gavioli, fagnergavioli@hotmail.com¹

Jalon de Moraes Vieira, jalon.vieira@ifsudestemg.edu.br¹

Lecino Caldeira, lecino.caldeira@ifsudestemg.edu.br¹

Renato Françoso de Ávila, renato.avila@ifsudestemg.edu.br¹

Paulo Rogério Araújo Guimarães, paulo.guimaraes@ifsudestemg.edu.br¹

¹Instituto Federal do Sudeste de Minas, Rua Bernardo Mascarenhas 1283, Bairro Fábrica, Juiz de Fora, MG, CEP 36080-001

Resumo: Recentes estudos sobre o uso de brocas de aço rápido revestidas na furação de ferro fundido têm possibilitado um tempo de vida maior da ferramenta e a redução do tempo de usinagem, possibilitando a eliminação ou redução do uso de fluidos lubri-refrigerantes. Este trabalho tem como objetivo avaliar o processo de furação usando brocas de aço rápido da classe M2, revestidas com TiAlN e CrAlN, ambas com alto teor de alumínio. Foi utilizado o processo de furação em cheio, com diferentes condições de lubri-refrigeração (seco, baixa vazão, vazão normal), trabalhando com fluido sintético a uma concentração de 5%. O corpo de prova empregado nos testes foi o ferro fundido nodular de matriz ferrítica e perlítica da classe Fe 50007. Foram utilizadas brocas de 6 mm de diâmetro com os seguintes parâmetros de furação: rotação de 2500 rpm e 3750 rpm, avanço de 150 mm/min e profundidade de corte de 18 mm. Foi avaliado o desgaste de flanco (VB_{máx}) com critério de fim de vida da ferramenta de 0,3 mm, em um microscópio óptico com aumento de 6.7x e assim realizada uma comparação entre o desempenho dos revestimentos e condições de lubri-refrigeração, além de analisar os desvios geométricos de circularidade e cilindridade dos furos, via máquina de medição por coordenadas. As ferramentas de CrAlN apresentaram menores desgastes do que as de TiAlN, sob todas as condições de lubri-refrigeração utilizadas, e a melhor condição de lubri-refrigeração no processo de furação foi com vazão normal. Os furos apresentaram menores desvios de circularidade e cilindridade com fluido de corte em vazão normal.

Palavras-chave: furação, ferro fundido, fluido de corte, filmes finos, desgaste.

1. INTRODUÇÃO

A usinagem é um processo utilizado na fabricação de componentes para diversos setores industriais. O processo de furação é um dos mais utilizados pelas indústrias de metal-mecânica. Nos últimos anos o estudo sobre o processo de furação tem crescido, devido ao foco no aumento da produtividade, avanço dos materiais empregados nas brocas, além da utilização mais difundida de centros de usinagem que apresentam alta rigidez, potência e são capazes de chegar a altíssimas rotações, permitindo a elevação das condições de corte como rotação e avanço, buscando um aumento da produtividade (Diniz, *et al.* 2008).

Nas operações de usinagem, a furação é um processo bem crítico, porque necessita de uma maior refrigeração, lubrificação e auxílio no transporte do cavaco, necessitando a utilização de fluidos lubri-refrigerantes, que de certa forma envolve com a saúde do operador devido ao contato com a pele, respiração e ingestão de poluentes, além de prejudicar o meio ambiente quando descartados de forma irregular na água e no solo. Sabendo da importância da redução do fluido de corte é necessário verificar e buscar um equilíbrio na produção de peças de boa qualidade e formas de redução do uso dos fluidos através de testes experimentais com diferentes condições de lubrificação e refrigeração (Machado, *et al.* 2011).

Segundo Gamarra (2003), tem ocorrido atualmente um crescimento nas pesquisas relacionadas ao desempenho das ferramentas de corte com o intuito de aumentar a vida da ferramenta e melhorar a qualidade da peça usinada. Os testes em sua maior parte estão focados na usinagem em altas velocidades de corte e na diminuição do uso de fluidos de corte ou até mesmo na usinagem a seco, exigindo a utilização de materiais especiais para ferramentas e revestimentos com boa resistência ao desgaste em altas temperaturas.

Algumas literaturas mostram que os revestimentos de TiAlN e CrAlN são muito favoráveis na usinagem com baixa vazão de fluidos lubri-refrigerantes ou a seco, principalmente por conter alumínio, que age como elemento formador de

óxidos durante a usinagem, diminuindo o atrito entre o cavaco-ferramenta e a temperatura na região de contato, aumentando assim a vida da ferramenta (Marques, 2014).

A participação dos ferros fundidos nodulares vem aumentando no setor metal-mecânico, mas ainda há dificuldades em sua usinabilidade, devido a formação de cavacos do tipo cisalhado ou arrancado, que provocam vibrações nas ferramentas. Já a presença de nódulos esferoidais de grafita em sua matriz atua como quebra cavaco, aumentando também a lubrificação entre a peça e a ferramenta, melhorando a usinabilidade desses materiais, quando comparados com outros tipos de ferros fundidos (Silva, 2005).

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Todo trabalho experimental foi desenvolvido nos laboratórios dos núcleos de mecânica e metalurgia do Instituto Federal Sudeste de Minas – Campus Juiz de Fora.

Foi realizada análise metalográfica, do material utilizado durante os testes de furação, com objetivo de avaliar suas características estruturais e assim identificar sua classe e qual a composição da sua matriz. A Figura 1 apresenta imagem da microestrutura de amostra atacada com Nital 2%.

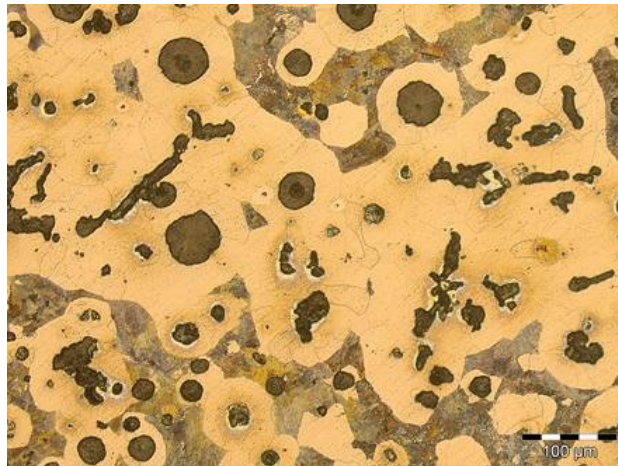


Figura 1. Imagem da microestrutura do corpo de prova. Aumento de 200x. Ataque com Nital 2%.

O corpo de prova utilizado para realizar os testes de furação foi uma peça de ferro fundido nodular de seção quadrada com dimensões de 350 x 91 x 91 mm, fornecidos pela Fundação Tupy, conforme pode ser observado na Figura 2.



Figura 2. Peça de ferro fundido nodular.

A máquina utilizada para realização dos testes foi o centro de usinagem CNC Discovery 400, da marca ROMI, comando FANUC. Esta máquina, visualizada na Figura 3, apresenta curso da mesa superior (x) de 410 mm, curso da mesa inferior (y) de 310 mm e curso do cabeçote (z) de 410 mm, além de poder trabalhar até 7500 rpm, com carrossel para até 14 ferramentas.



Figura 3. Centro de usinagem Discovery 400 da marca ROMI.

Para os ensaios de furação em ferro fundido nodular da classe Fe 50007, segundo a norma NBR 6916/1981, foram utilizadas brocas de aço rápido classe M2, conforme a norma DIN 338, com dimensões de comprimento total de 93 mm, comprimento de hélice de 60 mm, diâmetro de 6 mm e ângulo de ponta de 118°.

A aplicação do revestimento foi realizada pela empresa TECVAC/Inglaterra pelo processo de deposição física de vapor assistida por plasma – feixe de elétrons (EBPAPVD), onde foram aplicados revestimentos de TiAlN (Nitreto de Titânio Alumínio) e CrAlN (Nitreto de Cromo Alumínio), ambas com alto teor de alumínio. A imagem das brocas pode ser vista na Figura 4.

Antes de iniciar os testes foram realizadas as primeiras imagens dos flancos das ferramentas, como forma de verificação de possível ocorrência de marcas na região do corte, ou qualquer outro tipo de irregularidade que pudesse ser encontrada.



Figura 4. (A) broca com revestimento do composto de TiAlN; (B) broca com revestimento do composto de CrAlN.

A simulação para executar a sequência de furos foi realizada através do software UniCAM-V7, conforme ilustrado na Figura 5.

As faces superior e inferior da peça tem capacidade de receber 272 furos cada, sendo 34 carreiras de 8 furos. Já as duas faces laterais tem capacidade de receber 170 furos cada, sendo 34 carreiras de 5 furos.

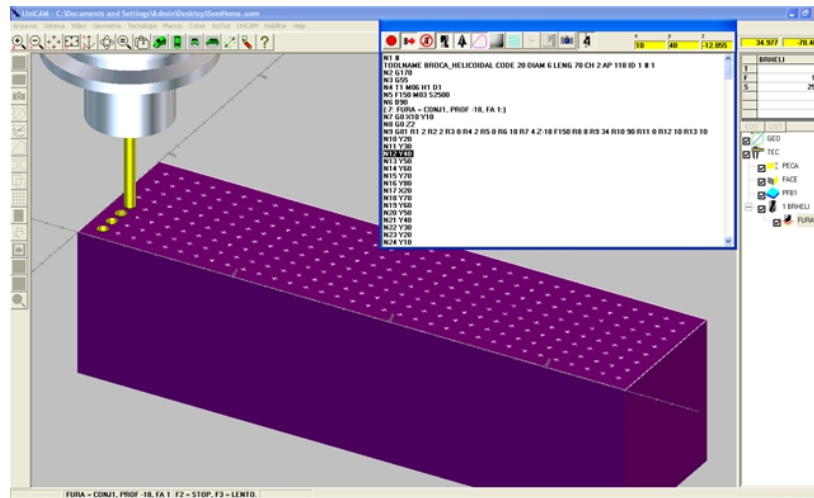


Figura 5. Ilustração da simulação da sequência de furos executadas nos testes.

Para aquisição dos dados de desgaste das brocas, foram utilizados duas rotações (velocidades de corte), e apenas um avanço e uma profundidade de corte, com três condições diferentes de lubri-refrigeração, como pode ser observado na Tabela 1. A profundidade de corte utilizada foi de 3 vezes o diâmetro da broca para todos os testes.

O intuito de variação dos parâmetros da velocidade de corte acima do convencional foi de identificar como os dois tipos de revestimentos reagiriam a tais situações levando em consideração as três condições de lubri-refrigeração (seco, baixa vazão e vazão normal) utilizadas nos testes, podendo comparar e verificar a melhor condição.

Os parâmetros utilizados no trabalho foram obtidos junto à consulta de fabricantes de ferramentas e alguns pré-testes realizados.

O processo de furação utilizado nos testes foi de furação em cheio, sem a utilização de broca de centro para iniciar os furos. A fixação da broca era realizada sempre mantendo 60 mm da broca para fora da pinça, sempre verificando a medida com um paquímetro e apertando a porca de fixação.

Tabela 1. Parâmetros de corte utilizados nos testes.

TESTE	REVESTIMENTO DA BROCA	ROTAÇÃO (rpm)	AVANÇO (mm/min)	PROFUNDIDADE DE CORTE (mm)	CONDIÇÕES LUBRI-REFRIGERAÇÃO (L)
1	TiAlN	2500	150	18	seco
2	CrAlN	2500	150	18	seco
3	TiAlN	3750	150	18	seco
4	CrAlN	3750	150	18	seco
5	TiAlN	2500	150	18	baixa vazão
6	CrAlN	2500	150	18	baixa vazão
7	TiAlN	3750	150	18	baixa vazão
8	CrAlN	3750	150	18	baixa vazão
9	TiAlN	2500	150	18	vazão normal
10	CrAlN	2500	150	18	vazão normal
11	TiAlN	3750	150	18	vazão normal
12	CrAlN	3750	150	18	vazão normal

Foi utilizado nos testes o fluido sintético para usinagem Southcool RU 20, da marca Southquim. Este é um fluido sintético bioestável com propriedades anti-corrosiva, biocida e anti-oxidante.

No dia do teste foram colocados no reservatório da máquina 242,5L de água e 7,5L de fluido de corte, buscando uma concentração de 5%. A condição de vazão normal foi de 17 l/min, trabalhando com três bicos posicionados perto do eixo da ferramenta. Já a condição de baixa vazão foi de 1 l/min, trabalhando apenas com um bico posicionado perto do eixo da ferramenta.

O desgaste de flanco (VB_{máx}) foi medido no microscópio estereoscópio trinocular (mod. SZ-6145 TR) da marca Olympus, que pode ser visto na Figura 6. O software utilizado foi o AnalySis de captura e análise de imagens.

O microscópio foi calibrado para um aumento de 6.7x. A própria pinça do cone de fixação da broca foi utilizada como suporte para o posicionamento da broca e verificação da região de desgaste.

Os critérios de parada para aquisição de dados do desgaste de flanco (VB_{máx}) foi realizado a cada 16 furos nas faces superior e inferior, já nas faces laterais o critério de parada foi a cada 15 furos.

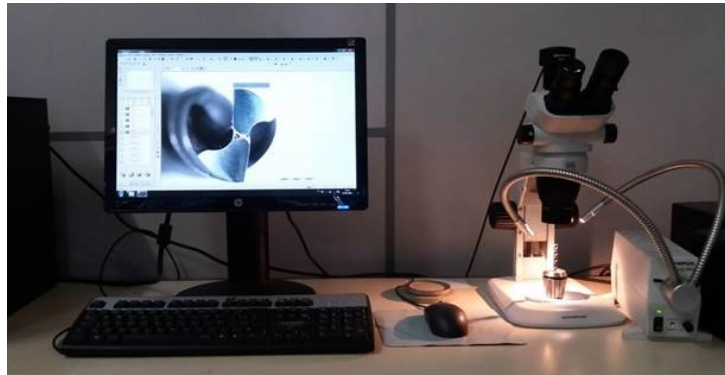


Figura 6. Microscópio estereoscópio trinocular usado para medir desgaste da broca.

Para medir os desvios geométricos de circularidade e cilindridade foi utilizada a máquina de medição por coordenadas modelo Crysta-Plus M da marca Mitutoyo, como pode ser observado na Figura 7.

A máquina de medição foi calibrada para uma ponta de 2mm, conseguindo assim entrar com facilidade no furo para realizar as medições. Para manter as condições da sala de metrologia controladas utilizou-se um relógio termohigrômetro, realizando a medição da temperatura que estava entre 20°C e 21°C, e a umidade se manteve próximo de 50%.

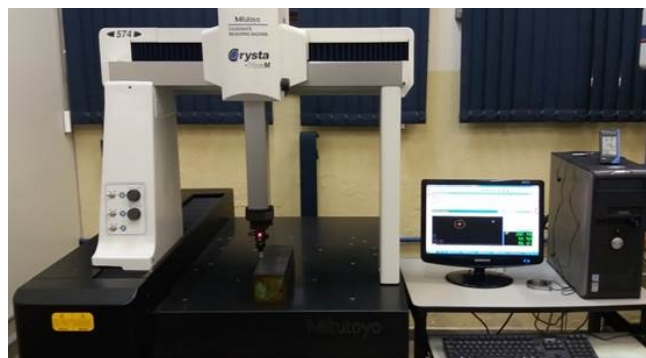


Figura 7. Máquina de medição por coordenadas.

Para realizar as medições de circularidade foi escolhido um plano a 1mm da borda do furo e nesse plano era marcado quatro pontos dispostos a cada 90°, conseguindo gerar um gráfico 2D com as medida de circularidade e do diâmetro do furo. Foi necessário ajustar uma zona de tolerância de um décimo para realizar a medição de circularidade.

Para realizar as medidas de cilindridade foram escolhidos três planos localizados há 1 mm, 8 mm e 16 mm de profundidade da borda do furo onde em cada plano foi marcado 3 pontos a fim de gerar um gráfico dos pontos marcados indicando a medida de cilindridade do furo. Foi necessário ajustar uma zona de tolerância de um décimo para realizar a medição de cilindridade.

3. RESULTADOS

As Figuras de 8 a 10 apresentam o comportamento do desgaste das ferramentas em relação ao número de furos realizados nas diferentes condições de usinagem.

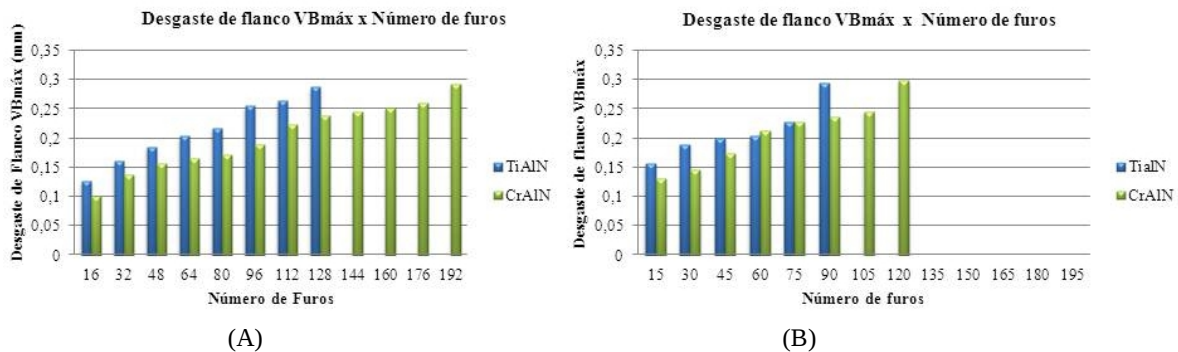


Figura 8. Desgaste de flanco das brocas. (A) Brocas revestidas com TiAlN e CrAlN, rotação de 2500 rpm, vazão normal; (B) Brocas revestidas com TiAlN e CrAlN, rotação de 3750 rpm, vazão normal.

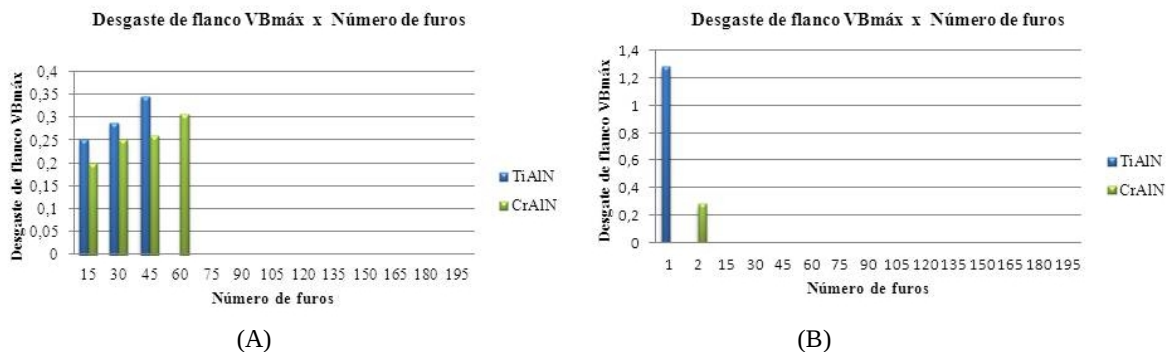


Figura 9. Desgaste de flanco das brocas. (A) Brocas revestidas com TiAlN e CrAlN, rotação de 2500 rpm, baixa vazão; (B) Brocas revestidas com TiAlN e CrAlN, rotação de 3750 rpm, baixa vazão.

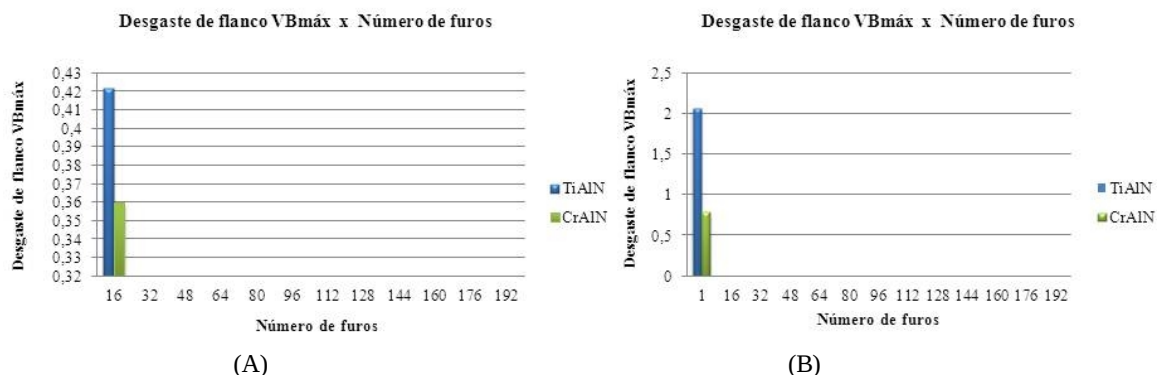


Figura 10. Desgaste de flanco das brocas. (A) Brocas revestidas com TiAlN e CrAlN, rotação de 2500 rpm, seco; (B) Brocas revestidas com TiAlN e CrAlN, rotação de 3750 rpm, seco.

Pode-se verificar que de maneira esperada e geral o desgaste da ferramenta foi menor quando da utilização de rotação de 2500 rpm em relação a rotação de 3750 rpm. Observa-se também que quando da utilização de fluido de corte com vazão normal o desgaste da ferramenta foi menor em relação as demais condições avaliadas. Quanto ao desempenho dos dois tipos de revestimentos utilizados, TiAlN e CrAlN, verifica-se também que para todas as condições avaliadas que com o uso do revestimento de CrAlN, foi possível obter os menores desgastes das ferramentas.

A Figura 11 imagem (A) e (B), mostra os resultados de circularidade ao longo da vida das ferramentas, na usinagem a seco, com baixa vazão e vazão normal. Os gráficos foram gerados para o processo de furação com rotação de 2500 rpm. Trabalhando com rotação de 3750 rpm não foi possível gerar os gráficos de circularidade e cilindridade, pois algumas brocas realizaram apenas um furo, não havendo como comparar de forma efetiva estes resultados.

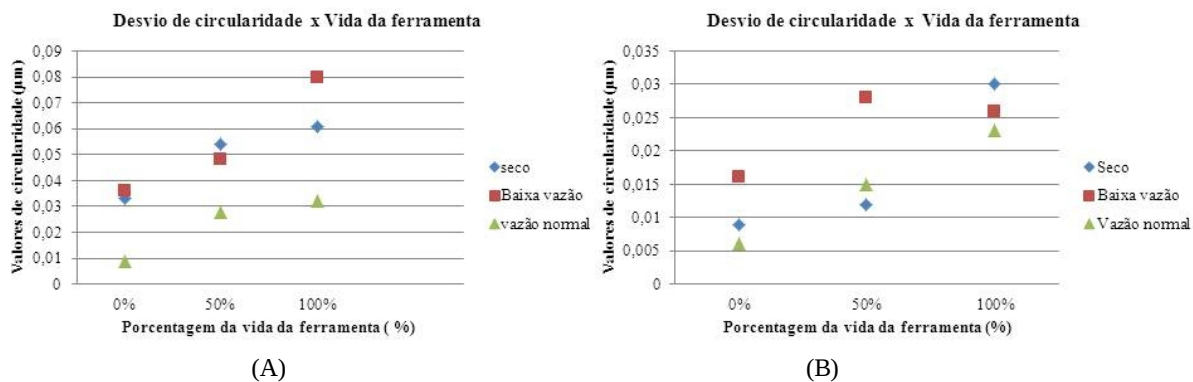


Figura 11. Desvio de circularidade dos furos: (A) ferramentas revestidas com TiAlN e rotação de 2500 rpm. (B) ferramentas revestidas com CrAlN e rotação de 2500 rpm.

A análise da Figura 11 mostra que a furação realizada com condição de vazão normal de fluido lubri-refrigerante, apresentou os menores desvios de circularidade em comparação com as outras duas condições. Verifica-se que as ferramentas revestidas com CrAlN apresentaram melhores resultados, que pode ser função da composição do revestimento, apresentando ao longo de todo estudo menor desgaste.

Os gráficos de cilindridade seguiram a mesma condição adotada para os gráficos de circularidade. Foram analisadas as brocas com os dois tipos de revestimentos, sob as três condições de lubri-refrigeração, para rotação de 2500 rpm, como mostra a Figura 12.

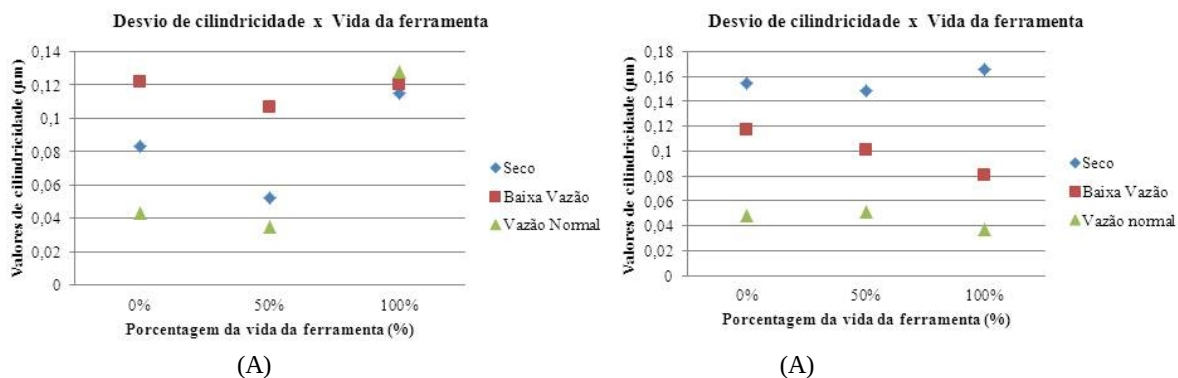


Figura 12. Desvio de cilindridade dos furos: (A) ferramentas revestidas com TiAlN e rotação de 2500 rpm. (B) ferramentas revestidas com CrAlN e rotação de 2500 rpm.

Através dos gráficos da Figura 12, pode-se constatar que os desvios de cilindridade não apresentam uma tendência definida. Provavelmente ocorrido pela vibração da ferramenta ao iniciar o furo, juntamente com o desgaste nas arestas de corte da broca ao longo da furação possa justificar esta relação. Nota-se apenas que os desvios mais baixos ocorreram na condição de vazão normal de fluido de corte.

4. CONCLUSÕES

O elevado número de testes produziu um grande número de resultados. É notável que em praticamente todos os testes a condição de lubri-refrigeração com vazão normal foi a que conseguiu realizar o maior número de furos, se mostrando uma ótima opção na furação de ferro fundido nodular de matriz ferrítica e perlítica, com os revestimentos adotados. Em comparação aos testes realizados com os dois revestimentos, as ferramentas revestidas com CrAlN, apresentaram resultados muito satisfatórios quando comparados com as brocas revestidas com TiAlN.

Em ambos os revestimentos, o desgaste predominante no flanco da ferramenta foi o desgaste abrasivo, causado por constituintes duros do material da peça.

Na qualidade dos furos, os desvios de circularidade foram bem menores trabalhando com condições de lubri-refrigeração com vazão normal, já os desvios de cilindridade não obtiveram uma tendência definida, mas os gráficos confirmam que trabalhando com vazão normal de fluido da máquina os desvios são menores.

5. REFERÊNCIAS

- Diniz, A.E., Marcondes, F.C., Coppini, N.L., 2008, “Tecnologia da usinagem dos materiais”, 5ª edição, Ed. Artliber, 187 p.
- Gamarra, J.R., 2003, “Usinagem em altíssimas velocidades. Como os conceitos HSM/HSC podem revolucionar a indústria metal mecânica”, 2ª edição, Ed. Érica, 99p.
- Machado, A.R., Abrão, A.M., Coelho, R.T., Silva, M.B., 2011, “Teoria da usinagem dos materiais”, 2ª edição, Ed. Blucher, São Paulo, pp.175-178.
- Marques, F.M., ROCHA, A.S., CAVALER, L.C.C., CURI, E.I.M., 2015, “Caracterização de desgaste de brocas de hss revestidas com AlCrN e não revestidas, em ensaios de furação, na Usinagem de ferro fundido nodular DIN GGG 50”. Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica. v. 19, n.º 1, pp. 87-104, 2014.
- Silva, R.B., Pereira, I.C., Almeida, O.D., Silva, B.C., 2005, “Investigação da usinabilidade do ferro fundido nodular: primeira parte”. 15º POSMEC. FEMEC/UFU, Uberlândia-MG, 2005.

6. RESPONSABILIDADE AUTURAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

EVALUATION OF DRILLING NODULAR CAST IRON USING DIFFERENTIATED CONDITIONS OF LUBRICATION AND REFRIGERATION

Fagner Santos Gavioli, fagnergavioli@hotmail.com¹

Jalon de Moraes Vieira, jalon.vieira@ifsudestemg.edu.br¹

Lecino Caldeira, lecino.caldeira@ifsudestemg.edu.br¹

Renato Françoso de Ávila, renato.avila@ifsudestemg.edu.br¹

Paulo Rogério Araújo Guimarães, paulo.guimaraes@ifsudestemg.edu.br¹

1 Instituto Federal do Sudeste de MG – Campus Juiz de Fora, Rua Bernardo Mascarenhas, 1283 – Bairro Fábrica – CEP 36080-001 – Juiz de Fora – MG.

Abstract: The study of the use of fast steel drills with coatings on cast iron drilling has enabled a longer lifetime of the tool and reducing the machining time, due to increased cutting speed and advancement in the drilling process, allowing the elimination or reducing the use of lubricating cooling fluids. This work has the objective evaluate the drilling process with HSS drills, the M2 class, coated with TiAlN and CrAlN with high aluminum content. Was used the drilling process in full, with different conditions of lubrication cooling (dry, low throughput, average throughput), working with synthetic fluid at a concentration of 5%. The specimen used in the test was the nodular cast iron ferritic matrix and

pearlite of Fe 50007. Class 6 mm diameter drills were used with the following drilling parameters: speed of 2500rpm and 3750 rpm, feed 150 mm / min and 18 mm cutting depth. It evaluated the flank wear ($VB_{máx}$) tool with the end of life criteria in 0.3mm in an electron microscope with increased 6.7xe thus performed a comparison between the coatings and conditions of lubrication and cooling, and analyzing deviations geometric roundness and cylindricity of the hole, with the coordinate measuring machine. The CrAlN tools showed lower wear than the TiAlN, and the best condition of lubricating cooling in the drilling process was normal flow in all test. In the quality of the holes, the circularity deviations were much smaller working with normal flow lubrication conditions, while the cylindrical ones did not have a defined trend.

Keywords: Drilling . Drill. Coating. Cutting fluid. Cast iron