

MONITORAMENTO DO COMPORTAMENTO DA BROCA CHAMDRILL NA USINAGEM DO FERRO FUNDIDO CINZENTO

Código do Trabalho: 011025055

Resumo. O objetivo deste trabalho é monitorar a usinagem do ferro fundido cinzento através do acompanhamento do comportamento da força de avanço, torque, tensão e corrente da máquina, em função do avanço do desgaste da pastilha, através do processo de furação do ferro fundido cinzento GG25 sem fluido de corte, utilizando uma broca com pastilha intercambiável de metal duro modelo Chamdrill. Através dos resultados obtidos será possível definir quais parâmetros podem ser monitorados de maneira confiável para substituição da pastilha da ferramenta no momento adequado. Durante os ensaios serão utilizados os mesmos parâmetros de corte, independentemente do avanço do desgaste, simulando assim uma condição de usinagem real na indústria. Esses parâmetros serão definidos através de pré-ensaios onde serão utilizados os recomendados pelo fabricante da ferramenta, bem como valores superiores e inferiores na ordem de 20% para verificar o comportamento do processo, pois é sabido que normalmente os dados de corte indicados pelo fabricante são conservadores.

Palavras-chave: furação, ferro fundido cinzento, desgaste, força de avanço

1. INTRODUÇÃO

É sabido que dos três processos de usinagem mais tradicionais (fresamento, torneamento e furação), este último é a menos estudado, mesmo com o desenvolvimento de novos tipos e geometrias de brocas, bem como de materiais pelos fabricantes das mesmas.

Vale destacar a importância de se estudar esta operação já que ela é responsável por 34% do tempo consumido em usinagem pela indústria automobilística, como podemos observar na Figura 1, sendo inclusive um pouco superior ao tempo gasto com torneamento, que fica na ordem de 26%.

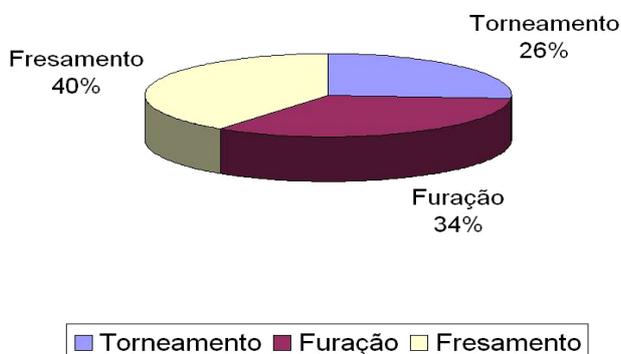


Figura 1. Divisão dos processos de usinagem na indústria automobilística atual (CAPUANO, 2004)

Porém o fato de poucos estudos terem sido feitos sobre esta operação até pouco tempo atrás se deve a diversos outros fatores, entre eles o fato da broca possuir uma geometria complexa, o que fez

com que o desenvolvimento de novos materiais necessitasse de um tempo muito maior para ser estudado. As brocas com maior resistência ao desgaste, também exigia máquinas que atingissem altas potências durante a usinagem, além de uma boa rigidez, o que não era encontrado na maioria das máquinas até algum tempo atrás.

Também têm-se observado a grande quantidade de trabalhos publicados recentemente sobre a necessidade da não utilização de fluido de corte na usinagem, como os de Santos (1999); Schroeter, Castro e Teixeira (2000); Yang, Jaganathan e Du (2001); Capuano (2004); Miranda (2003) devido aos diversos transtornos que estes trazem como: danos à saúde humana, problemas ambientais, altos custos operacionais e legislações cada vez mais rígidas. Fluidos de corte apresentam características negativas para a saúde. Problemas na pele e irritações nos olhos quando do contato direto com o fluido de corte, doenças do sistema respiratório e, em alguns casos, náuseas e dor de estômago.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. O Processo de Furação

Furação é um processo mecânico de usinagem, utilizado para a obtenção de um furo geralmente cilíndrico numa peça, com auxílio de uma ferramenta geralmente multicortante. Para tanto, a ferramenta ou a peça gira e simultaneamente a ferramenta ou a peça se desloca segundo uma trajetória retilínea, coincidente ou paralela com o eixo principal de rotação da máquina. O processo de furação pode subdividir-se em operações de furação em cheio, escareamento, furação escalonada, furação de centros e trepanação. A ferramenta destinada a este processo denomina-se broca. (FERRARESI, 2003).

2.2. Funções do Fluido de Corte

Como é sabido, os fluidos de corte são largamente empregados na usinagem em geral, com as finalidades de refrigerar e lubrificar o processo. Essa prática foi introduzida por F. W. Taylor em 1890 com a finalidade de resfriar a ferramenta, tendo utilizado inicialmente água, e depois uma solução água e soda. (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2000)

O fluido de corte tem diversas funções, como: prevenção da soldagem cavaco-ferramenta; retirada do cavaco da região de corte; proteção contra a corrosão; redução da dilatação; etc.

Porém suas principais funções são a de lubrificação e/ou refrigeração do processo de usinagem. (ASTAKHOV; SUBRAMANYA; OSMAN, 1995) e (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2000)

2.3. O Ferro Fundido Cinzento

A escolha do ferro fundido cinzento para objeto de estudo deste trabalho se deveu ao fato deste ser um dos materiais mais empregados na indústria metal-mecânica, principalmente no setor automotivo estando presente desde componentes de freio até o bloco do motor.

Segundo a ABIFA (Associação Brasileira de Fundição) de janeiro à junho deste ano foram produzidas 1.289.907 toneladas de ferro fundido, sendo uma média de 12.403 toneladas/dia, apesar de termos fundições em todas as regiões do Brasil, a maioria se concentra nas regiões sul e sudeste.

3. MATERIAIS, MÉTODOS E EQUIPAMENTOS

3.1. Material

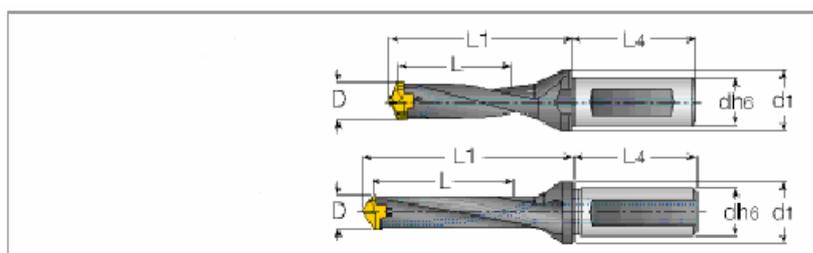
Os corpos de prova foram confeccionados a partir de “tarugos” de ferro fundido cinzento GG25, suas características foram informadas através de laudos emitidos pelo fornecedor; como composição química na Tabela 1, dureza Brinell e micrografias.

Tabela 1. Composição química dos corpos de prova

| Análise | Norma (%) | Resultados (%) |
|----------|------------|----------------|
| Carbono | 2,5 ~ 4,0 | 3,42 |
| Silício | 1,2 ~3,0 | 1,86 |
| Manganês | 0,30~1,00 | 0,63 |
| Fósforo | 0,1 ~1,00 | 0,07 |
| Enxofre | 0,02 ~0,05 | 0,02 |
| Estanho | | 0,08 |
| Cromo | | 0,08 |

3.2. Ferramenta

A broca selecionada para este trabalho é uma broca com ponta intercambiável, diâmetro nominal 12,3 m7, versão direita, com fixação cilíndrica diâmetro 16h6, o inserto tem cobertura de TiAlN por processo PVD e classe K20-K30. Por se tratar de um desenvolvimento exclusivo do fornecedor a mesma não segue nenhuma Norma, mas na Figura 2 estão destacadas suas principais características.



| D min | D max | L | d | d1 | L1 | L4 |
|-------|-------|------|-------|------|------|------|
| 12,0 | 12,40 | 36,0 | 16,00 | 20,0 | 52,2 | 48,0 |

Figura 2. Características da Broca utilizada

3.2.1. Material do corpo

O corpo da broca é confeccionado em Aço SAE 4340, e após a sua usinagem submetido ao tratamento térmico de beneficiamento o que lhe confere a dureza de aproximadamente 38 HRc. A última etapa da confecção desta ferramenta é o tratamento superficial que se trata de uma camada de níquel de 0,4mm de espessura depositada sobre o corpo da broca, conferindo a esta uma dureza de 46 HRc.

3.2.2. Material da pastilha

A pastilha utilizada nesta ferramenta é um substrato de metal duro sinterizado, com granulação dos componentes submicron (diâmetro dos grãos de aproximadamente 0,0005mm). Após o processo de sinterização a pastilha recebe uma camada de TiAlN (Nitreto de Titânio-Alumínio) por processo PVD.

3.3. Equipamentos e Instrumentos

A seguir serão apresentados os equipamentos e instrumentos utilizados para possibilitar a realização deste trabalho.

Os parâmetros a serem estudados e monitorados durante os experimentos foram divididos entre parâmetros intrínsecos ao processo e parâmetros resultantes do processo, e denominamos o primeiro como Grandezas diretas e o segundo Grandezas indiretas.

As Grandezas diretas foram monitoradas no momento da usinagem, através de um sistema aquisitor de dados, e são as seguintes: força de avanço, momento torsor, tensão e corrente.

O sistema de aquisição de dados utilizado foi desenvolvido pelos docentes e pesquisadores do Laboratório de Usinagem da Faculdade de Tecnologia de São Paulo, sendo a placa utilizada para aquisição de dados de fabricação nacional modelo AD8Bv2, com entradas analógicas de sinais de 0 a 5,12 V, junto com um software que capta esses sinais e os exibe em forma de gráfico.

As Grandezas indiretas foram consideradas leituras resultantes porque foram realizadas no produto usinado, os parâmetros aqui analisados foram: diâmetro efetivo, circularidade e rugosidade.

Para medição dessas grandezas foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Rugosímetro portátil modelo Surftest SJ-201P da marca Mitutoyo
- Máquina de medir coordenadas modelo Crysta-Plus M7106 da marca Mitutoyo

4. RESULTADOS

Neste item serão apresentando os resultados obtidos nos ensaios de furação, tanto das grandezas diretas como das indiretas.

Os ensaios foram divididos em 5 valores de desgaste frontal (VB=0; VB=0,05; VB=0,10; VB=0,15 e VB=0,20). Para cada um desses valores foram realizados 5 ensaios, totalizando 25. Após a realização destes foram realizadas réplicas de todos os ensaios com pastilhas diferentes das anteriores, porém com o mesmo desgaste frontal, o que totalizaram mais 25 ensaios.

A tabela 2 apresenta os resultados obtidos (consolidados) para as grandezas diretas para os 50 ensaios finais realizados.

A primeira coluna indica a qual teste se refere a linha que contém os dados de desgaste frontal (VB), tensão média (V_m), corrente média (I_m), força de avanço média (Fa_m) e Momento torsor médio (Mt_m), respectivamente.

Tabela 2. Resultados consolidados para grandezas diretas

| Código de Teste | VB (mm) | V _m (V) | I _m (A) | Fa _m (kgf) | Mt _m (kgfm) |
|-----------------|---------|--------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|
| VB=0,00 | 0,00 | 224,09 | 12,13 | 145,15 | 1,09 |
| VB=0,05 | 0,05 | 223,39 | 12,34 | 173,64 | 1,15 |
| VB=0,10 | 0,10 | 223,69 | 12,12 | 303,73 | 1,36 |
| VB=0,15 | 0,15 | 225,58 | 12,39 | 405,55 | 1,72 |
| VB=0,20 | 0,20 | 229,98 | 12,21 | 539,27 | 2,08 |

As figuras a seguir exemplificam o comportamento das grandezas diretas em função do tempo ao longo do processo de furação e também ilustram a evolução do desgaste da ferramenta.

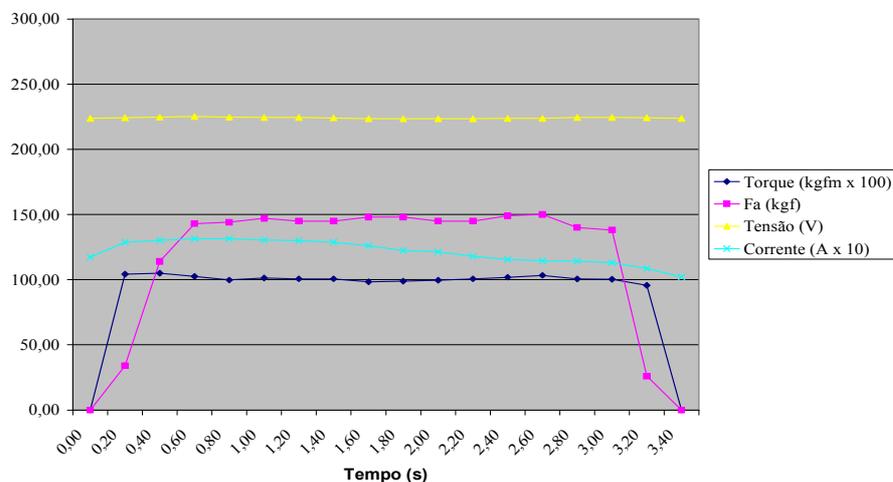


Figura 3. Gráfico geral do ensaio VB=0

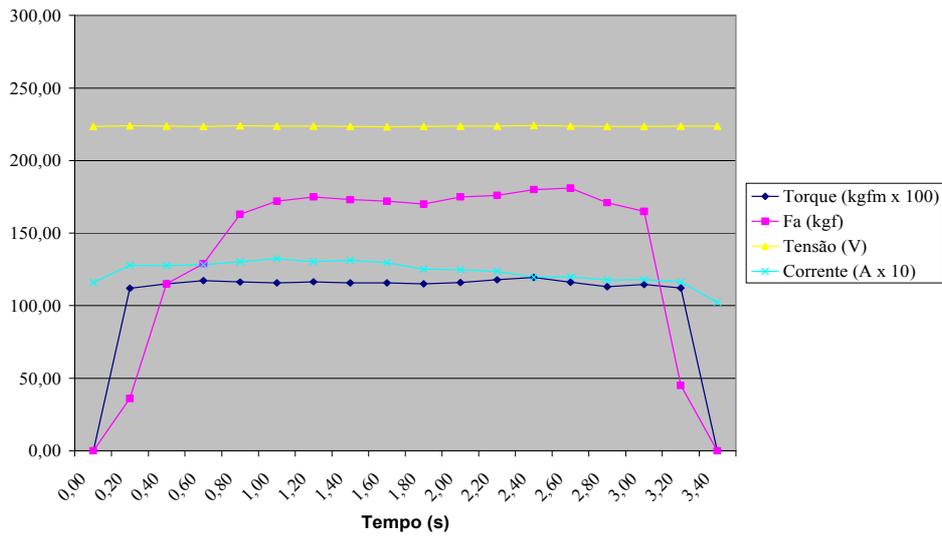


Figura 4. Gráfico geral do ensaio VB=0,05

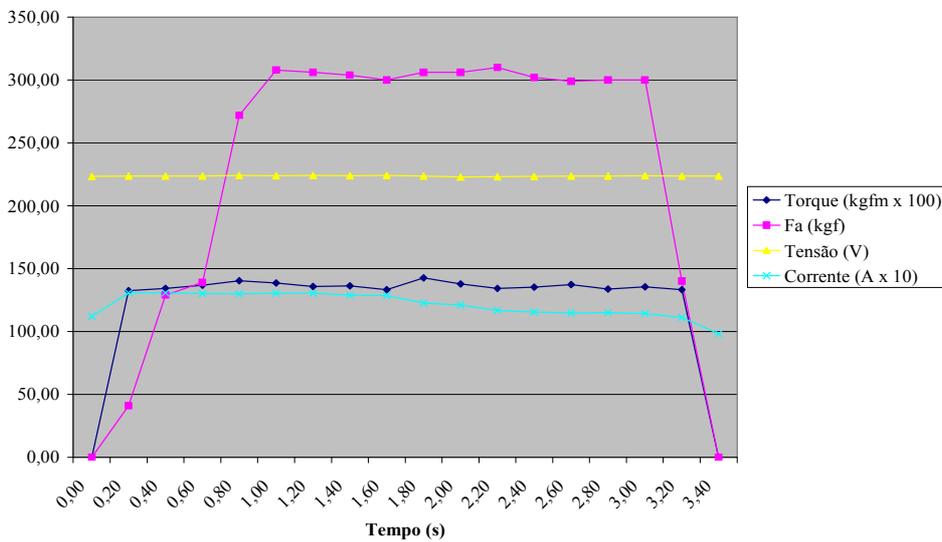


Figura 5. Gráfico geral do ensaio VB=0,10

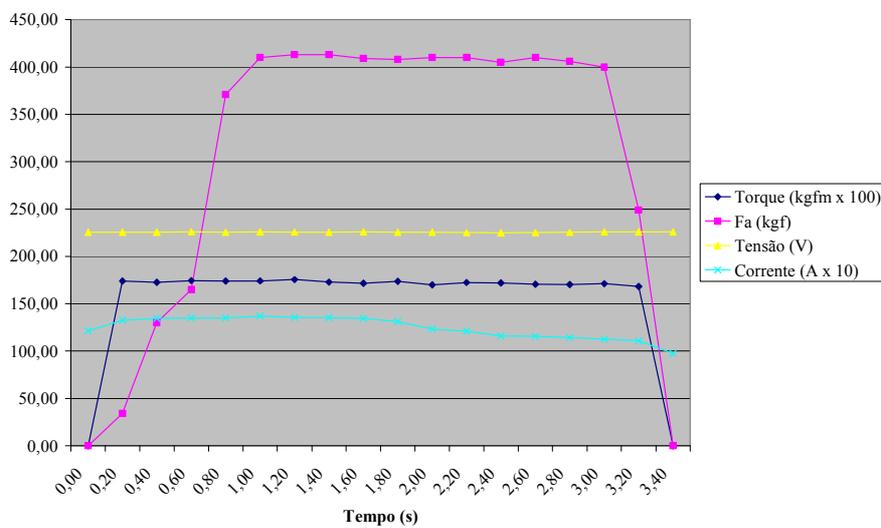


Figura 6. Gráfico geral do ensaio VB=0,15

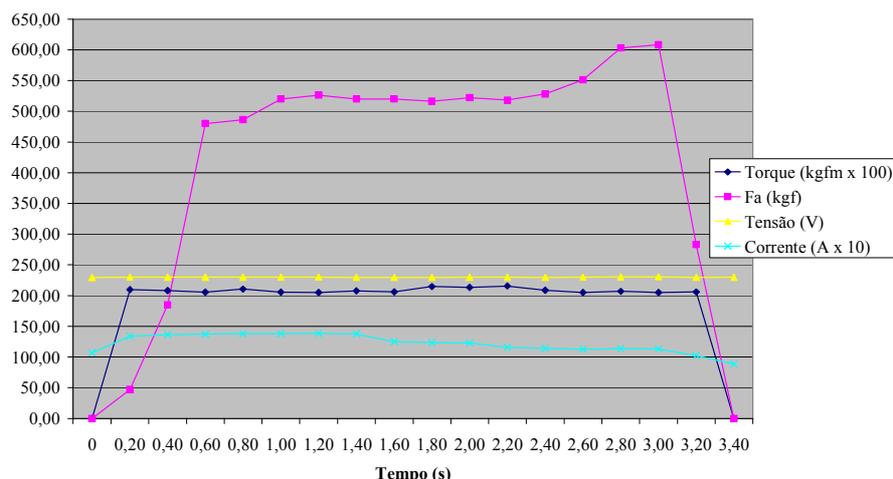


Figura 7. Gráfico geral do ensaio VB=0,20

Examinando a seqüência de figuras observa-se que a corrente, apresenta claramente o instante em que inicia-se o processo de furação, dado o incremento em sua grandeza, a partir daí exibe certa estabilidade, com uma pequena queda na metade do furo, até a finalização do mesmo, quando atinge um valor inferior, porém próximo ao verificado na situação inicial.

Assim como a corrente, a força de avanço e o momento tursor revelam o mesmo comportamento no instante inicial da furação, indicando o início do processo de furação.

A força de avanço, bem como o momento tursor apresentam uma oscilação em torno de um valor médio, com tendência de declínio que se acentua próximo ao término da execução do furo, à exceção do ensaio VB=0,20, onde temos um pico na força de avanço no final do furo, antes de iniciar o declínio.

Quanto à tensão e corrente, podemos observar que sofrem alterações relativamente pequenas, não podendo ser monitoradas satisfatoriamente.

5. DISCUSSÃO

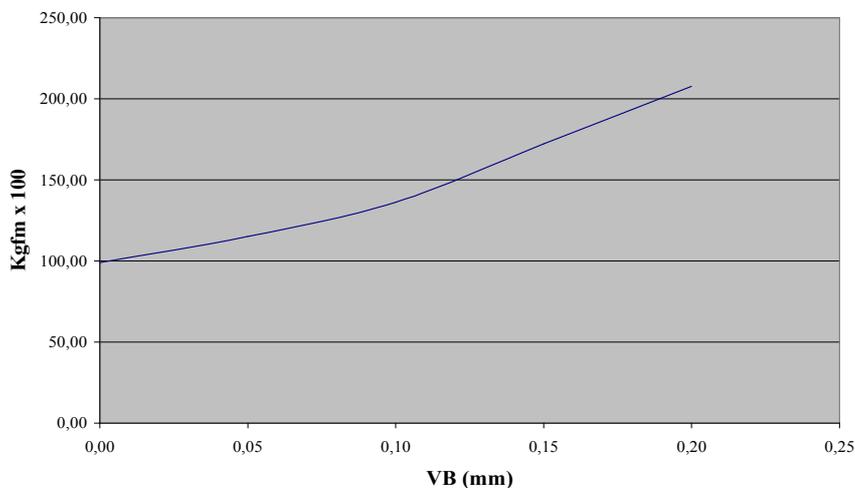


Figura 8. Gráfico da evolução do Torque em função do aumento do Vb (em mm)

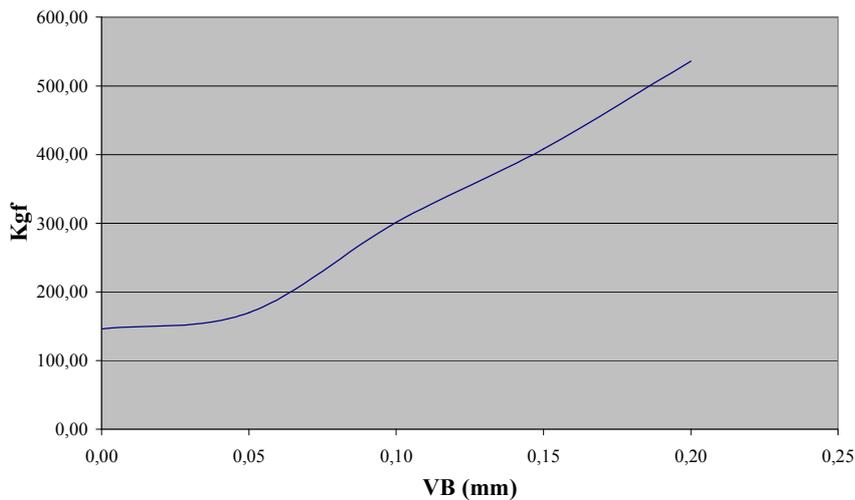


Figura 9. Gráfico da evolução da Força de Avanço em função do Vb (em mm)

Pode-se observar através dos gráficos anteriores que tanto o torque quanto a força de avanço aumentam conforme a evolução do desgaste frontal (Vb) da pastilha, sendo mais acentuado entre os desgastes de 0,15 e 0,20mm; o que era esperado, uma vez que a partir deste ponto a vida da ferramenta está no final, além do que o desgaste provocado pela usinagem já diminuiu a sua capacidade de corte.

Também verifica-se o fenômeno de quebra de borda dos corpos de prova no final da vida da ferramenta, este fenômeno é bastante comum na usinagem do ferro fundido cinzento e só se apresentou no final da vida da ferramenta, devido à diminuição da sua capacidade de corte, uma vez que a pastilha utilizada tem uma preparação de aresta especial para minimizar este fenômeno.

A Figura 10, ilustra a variação do diâmetro efetivo em função do VB, onde notamos que o mesmo aumenta a medida que o desgaste frontal VB também aumenta, o que a princípio não parece coerente, uma vez que o aumento do VB implica na redução do diâmetro da broca e conseqüentemente do furo usinado. Isso se explica pelo fato de que com o aumento do desgaste frontal da pastilha aumenta a dificuldade de penetração da broca no material, bem como os esforços de corte. O fato dessa broca ter o corpo de aço, resulta em maior flexibilidade, o que acarreta na tendência dessa broca fletir com esse esforço, ocasionando uma excentricidade na ponta da ferramenta que se refletirá no aumento do diâmetro do furo usinado.

É possível também observar que não há grandes erros de dispersão em todos os pontos ensaiados.

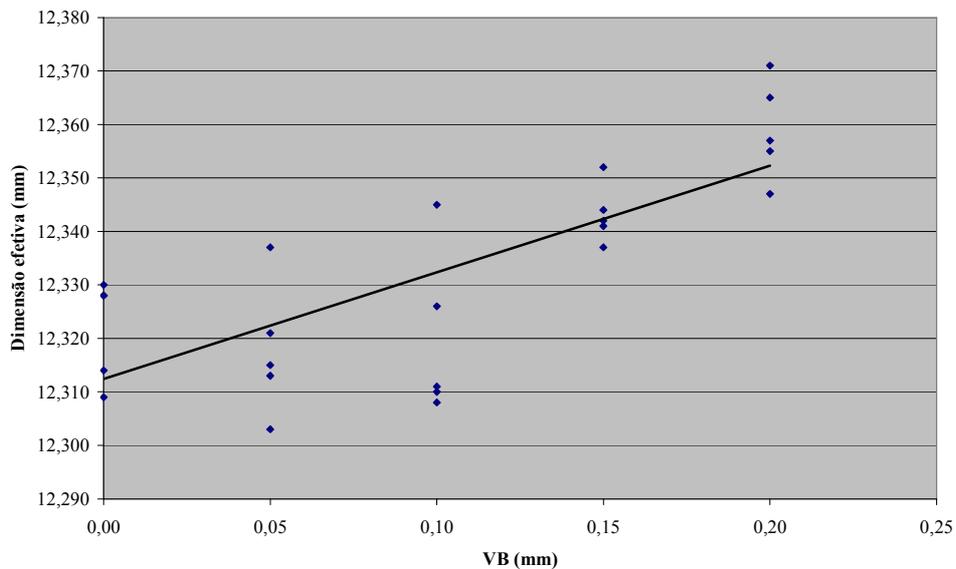


Figura 10. Diâmetro efetivo em função do desgaste frontal

A Figura 11 relaciona o erro de circularidade ao desgaste frontal para verificar a tendência do processo. Notamos a ascensão da grandeza na mesma proporção do aumento do desgaste frontal da pastilha, o que era esperado uma vez que o desgaste provoca avarias na broca, e associado à tendência da flexão do corpo da broca na mesma proporção resulta em uma piora da circularidade do diâmetro usinado.

Nota-se que esta grandeza foi a que apresentou a maior dispersão durante os ensaios.

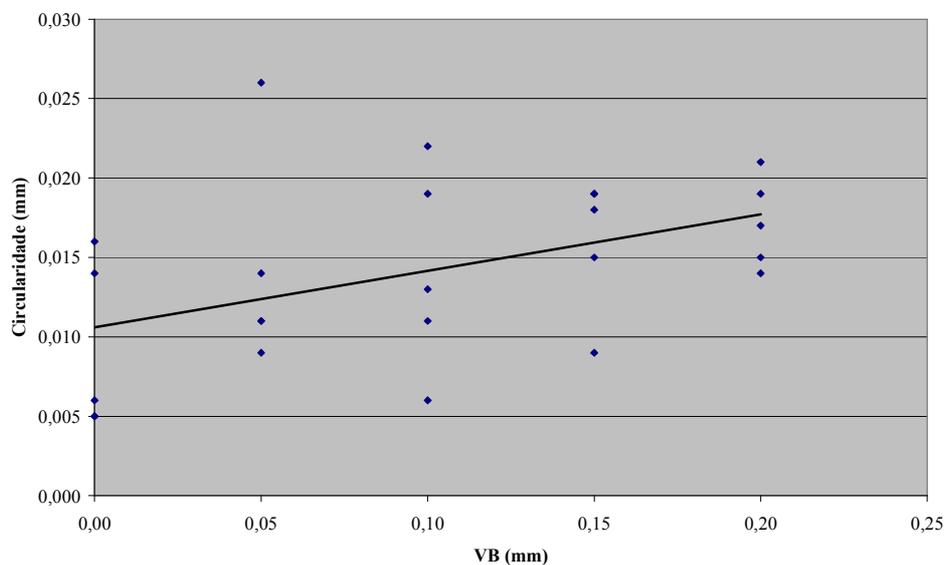


Figura 11. Erro de circularidade em função do desgaste frontal

Na Figura 12 encontram-se as menores dispersões das grandezas observadas, também verificamos a tendência da rugosidade dos furos em função do aumento do desgaste frontal, sendo que essa aumenta enquanto o desgaste frontal da pastilha aumenta. O resultado encontrado vai ao encontro do que era esperado, uma vez que o aumento do desgaste implica no desgaste do flanco da ferramenta, responsável diretamente pelo acabamento superficial do diâmetro usinado.

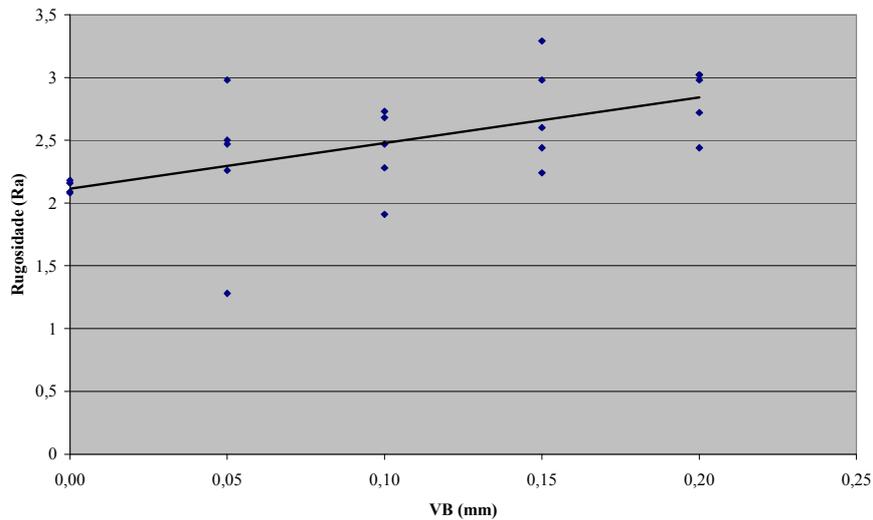


Figura 12. Rugosidade média em função do desgaste frontal

6. CONCLUSÃO

Nesta pesquisa foram medidos os esforços de avanço e momento tursor, tensão e corrente durante o processo de furação, e puderam-se detectar as relações dessas grandezas com o desgaste frontal.

O monitoramento da tensão e da corrente como parâmetros indicativos do avanço do desgaste não é adequado devido à variação muito exígua entre a pastilha nova e a com o máximo desgaste frontal estudado.

O monitoramento do momento tursor e da força de avanço indicaram que estas grandezas são importantes para o diagnóstico do fim de vida da ferramenta, já que as curvas de suas variações em função do desgaste frontal se mostraram viáveis.

O resultado das curvas de tendência das grandezas indiretas monitoradas (rugosidade, dimensão efetiva e circularidade) em função do desgaste frontal se mostraram compatíveis com as premissas.

Entre as grandezas indiretas monitoradas, apenas a rugosidade pode ser considerada parâmetro indicativo do fim de vida da ferramenta, devido à variação muito exígua entre a pastilha nova e a com o máximo desgaste frontal estudado das outras grandezas.

O valor de desgaste frontal adotado pelo mercado para aplicações semelhantes à essa ($VB=0,20\text{mm}$) se deve apenas ao fato de que a partir deste valor se inicia o fenômeno da quebra de borda ao término do furo, pois a pastilha ainda tem condições de usinagem por mais tempo.

7. REFERÊNCIAS

A) DOCUMENTOS IMPRESSOS

Livros

- DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N.L. – **Tecnologia da Usinagem do Materiais**, ArtLiber Editora, 2000. cap. 10, p. 165-179.
- FERRARESI, D. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. ed. Edgard Blücher, 2003. cap. 11, p. 542.

Dissertações e Teses

CAPUANO, M. N. **Avaliação e Monitoração do Desgaste de Ferramentas no Processo de Furação**. 2004. 2 e 44 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MIRANDA, G. W. A. – **Uma Contribuição ao processo de Furação sem Fluido de Corte com Broca de Metal Duro revestida com TiAlN**. Tese de Doutorado, 2003.

SANTOS, S. C. **Furação de Ferro Fundido Cinzento com Brocas de Metal Duro Integral**. 1999. 21 – 23 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 1999.

Congressos, Conferências, Simpósios, Workshops, Jornadas e outros Eventos Científicos

SCHROETER, R. B. A.; CASTRO, P. R.; TEIXEIRA, C. R. Influência da Minimização do Fluido de Corte na Furação com Broca Helicoidal de Metal Duro. In CONEM, 2000, Rio Grande do Norte, Anais. UFRN, 2000. 1 CD-ROM.

Artigo de Revista

ASTAKHOV, V. P.; SUBRAMANYA, P. S.; OSMAN, M. O. M. **An Investigation of the Cutting fluid flow in Self-Piloting Drill**, Machines Tools & Manufacture, v. 35, p. 547-563, jun. 1995.

YANG, J. A.; JAGANATHAN, V.; DU, R. **A new Dynamic Model for Drilling and Reaming Processes**, Machine Tools & Manufacture, p. 174, may 2002.

MONITORING THE CHAMDRILL DRILL'S BEHAVIOR THROUGH MACHINING GREY CAST IRON

Leonardo Monteiro Barbosa

Universidade de Taubaté – UNITAU, Mechanical Engineering Department, Daniel Danelli, St., s/n - Jd. Morumbi Taubaté - SP – Brazil ZIP Code 12060-440, phone.: (019) 3826-7100, Fax.: (012) 3629-2566, e-mail: leonardo@iscarbrasil.com.br

Gilberto Walter Arenas Miranda

Universidade de Taubaté – UNITAU, Mechanical Engineering Department, Daniel Danelli, St., s/n - Jd. Morumbi Taubaté - SP – Brazil ZIP Code 12060-440, phone.: (012) 3625-4191, Fax.: (012) 3629-2566, e-mail: gilware@terra.com.br

Abstract. *The objective of this work is to monitor the machining of the grey cast iron through the behavior of the feed force, torque, voltage and current of the tool machine, in function of the wear tool progress, through the dry drilling process of the grey cast iron GG25, using a drill with interchangeable carbide insert model Chamdrill. Through the obtained results it will be possible to define which parameters can be monitored in a reliable way for substitution of the carbide insert in the appropriate moment. During the tests the same cut parameters was used, independently of the wear's advance, simulating a real machine condition in the industries. Those parameters was defined through pre-tests where was used the cutting data recommended by tool's maker, as well as superior and inferiors values in the order of 20% to verify the behavior of the process, because is known that usually the cutting data suggested by tool's maker are conservatives.*

Keywords. drilling, grey cast iron, wear, effort of advance