



INVESTIGAÇÃO DA USINABILIDADE DO FERRO FUNDIDO NODULAR: PRIMEIRA PARTE

Rosemar Batista da Silva

rsilva@mecanica.ufu.br

Igor César Pereira

Deborah Oliveira Almeida

deborah@mecanica.ufu.br

Márcio Bacci da Silva

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Av. João Naves de Ávila, 2.121, Uberlândia – MG, 38.408-100, Brasil.

mbacci@mecanica.ufu.br

Resumo: Este trabalho tem como objetivos realizar a caracterização do ferro fundido nodular e investigar a usinabilidade por meio da técnica de aplicação de pressão constante. Foram utilizadas nos ensaios 4 amostras de ferro fundido nodular obtidas de diferentes lotes. Para efeito de comparação foi utilizada uma amostra de ferro fundido cinzento. Os testes foram realizados em uma furadeira de coluna utilizando-se broca helicoidal de aço rápido sem revestimento. Os resultados mostram que a técnica de furação com pressão constante é eficiente na determinação da usinabilidade de materiais. O ferro fundido nodular permite alcançar maior profundidade de penetração, no mínimo 2 vezes maior, que o ferro fundido cinzento, comprovando assim a melhor usinabilidade do ferro fundido nodular.

Palavras-chave: usinabilidade, teste de pressão, ferro fundido nodular, metalografia, furação.

1. INTRODUÇÃO

A produção de ferros fundidos tem crescido muito nos últimos anos e representa boa parte do mercado dos materiais utilizados na indústria metal-mecânica e, por isso, a busca contínua pelas melhorias de propriedades tem levado várias indústrias e centros universitários ao desenvolvimento de várias pesquisas a fim de se manterem competitivas no mercado. A adição de elementos tais como o silício, magnésio, cromo, molibdênio e o cobre, e também a aplicação de tratamentos térmicos adequados tem contribuído muito para a melhoria das propriedades mecânicas destes materiais, como por exemplo a rigidez e a ductilidade, tornando o emprego destes materiais viável em certas aplicações que eram até então exclusivas dos aços médio teor de carbono. Alguns resultados obtidos abrangem as classes de ferros fundidos com dureza na faixa de 150 e 300 HB (aproximadamente 176 e 318 HV). Entretanto, a presença destes elementos influencia na usinabilidade dos ferros fundidos. Dentro deste contexto a usinabilidade é um fator que merece atenção especial e deve ser analisada juntamente com a melhoria das propriedades mecânicas desejadas.

Os ferros fundidos são ligas ferro-carbono com teor de carbono entre 1,8 e 4,5% e que possuem ponto de fusão relativamente baixo (1200°C), requerendo, assim, menos combustível e possibilitando fácil moldação, uma vez que o metal fundido preencherá os vazios dos moldes com certa facilidade. Além disso, os ferros fundidos apresentam menor custo e permitem que posterior

operação de usinagem seja a mínima possível, quando comparado aos aços (Van Vlack, 1984). Os ferros fundidos apresentam ainda propriedades que tornam seu emprego viável em algumas aplicações antes exclusivas dos aços com médio teor de carbono. Os ferros fundidos são classificados em seis classes (Chiaverini, 1988): 1) ferro fundido cinzento; 2) ferro fundido branco; 3) ferro fundido mesclado; 4) ferro fundido maleável; 5) ferro fundido de grafita compactada e 6) ferro fundido nodular. O ferro fundido nodular, objeto de estudo neste trabalho, recebe este nome, pois em sua micrografia percebe-se a presença de nódulos em formato esferoidal, os quais são carbonos livres na forma de grafita esferoidal, obtida a partir de um tratamento térmico realizado quando a liga se encontra no estado líquido. Este tratamento confere ao material uma boa ductilidade, que é a principal propriedade deste tipo de material, como também confere maior resistência mecânica e aumento da tenacidade. A resistência mecânica aqui também se destaca pelo fato de seu limite de escoamento ser maior que o dos ferros fundidos cinzento e maleável, proporcionando maior resistência à tração. Suas aplicações incluem válvulas carcaça de bombas, virabrequins, engrenagens, rolamentos, pinhões, cilindros e outros componentes de máquinas e automóveis.

Sempre que uma operação de usinagem é realizada, o objetivo principal é produzir componentes com o máximo de funcionabilidade e intercambialidade a baixo custo e alta produção. Em outras palavras, isso significa que cada peça ou conjunto de um produto final seja feito de acordo com as especificações definidas quanto às dimensões, forma e acabamento da superfície. Na maioria das vezes esse objetivo não é tão fácil de ser alcançado e vários problemas ocorrem porque muitas variáveis do processo produtivo são ainda desconhecidas ou pouco exploradas. Dentre elas se destacam as características e usinabilidade do material da peça, seleção correta do material da ferramenta e os parâmetros de corte.

Existem vários conceitos para o termo “usinabilidade”, mas o mais aceito em Usinagem é aquele que o define como sendo uma grandeza que indica a facilidade ou dificuldade de se usar um material (Machado e Da Silva, 2004). Além de quantificar a facilidade ou dificuldade de se usar um certo material, a usinabilidade é também usada para quantificar o desempenho das ferramentas de corte e geometria das ferramentas, principalmente em termos de vida de ferramenta, como também a performance de fluidos de corte durante as operações de usinagem. Outras variáveis tais como as forças de usinagem, energia requerida na usinagem, acabamento superficial, taxa de desgaste da ferramenta, temperatura de corte, controle do cavaco são também geralmente consideradas como medida de usinabilidade.

A usinabilidade desses materiais depende da composição química e da microestrutura. As principais relações são: a redução do teor de carbono causa o aparecimento de carbono livre, fragilizando a matriz e conseqüentemente prejudicando a usinabilidade; o aumento no teor de silício causa a diminuição de APC e assim melhora usinabilidade do material; o aumento do teor de perlita torna a região branca mais dura e reduz a usinabilidade do material (Da Silva, 2001). A usinagem do ferro fundido pode variar desde muito fácil, como no caso do ferro fundido cinzento ferrítico, até muito difícil, como no caso do ferro fundido branco. A dureza do ferro fundido cinzento, e, portanto, o desgaste da ferramenta, aumenta com o aumento da porcentagem de perlita e cementita. Os flocos de grafita no ferro fundido cinzento diminuem a ductilidade do material, o que facilita a quebra dos cavacos, produzindo um comprimento de contato cavaco-ferramenta pequeno, relativamente baixas forças de usinagem e potência consumida, baixas taxas de desgaste e altas taxas de remoção de material. O ferro fundido nodular permite maiores vidas nas ferramentas de metal duro do que os ferros fundidos cinzentos (Mills e Redford, 1983).

Existem diversos testes para avaliar a usinabilidade de materiais. A maioria dos resultados da avaliação de usinabilidade publicada na literatura são obtidos por meio de testes de torneamento, e apesar de algumas características poderem ser comuns a mais de um processo, é aconselhável não fazer extrapolações para diferentes processos. Operações de furação e fresamento são também realizadas neste sentido a fim de se produzir um banco de dados de usinagem. Estes dados são catalogados, analisados e finalmente fornecem informações práticas para o chão de fábrica, principalmente. Um método de determinação de usinabilidade bem aceito pelos pesquisadores é o

teste de pressão constante que pode ser usado tanto na furação como no torneamento. É um teste de curta duração onde uma força de avanço é aplicada de forma constante sobre o material de espessura conhecida. Mede-se então o tempo para que a chapa seja furada ou ainda pode fixar-se o tempo e medir o percurso de avanço da ferramenta. A força de avanço pode ser determinada por meio de uma roldana com um cabo de aço e um prato com pesos adaptados no eixo de avanço da máquina. O material com maior penetração é aquele que apresenta melhor usinabilidade. Outro método introduzido pela indústria Volvo para determinação de usinabilidade é o teste Norma Volvo (1989). Este método baseia-se no desgaste da ferramenta e a usinabilidade do material é determinado por um índice percentual, precedido pela letra B. O índice 100 é atribuído ao aço de corte livre, utilizado como padrão de referência.

O objetivo deste trabalho é fazer a caracterização do ferro fundido nodular por meio da microestrutura, dureza e finalmente determinar a sua usinabilidade por meio do teste de pressão a fim de se otimizar o processo de usinagem de tal material na linha de produção da empresa A Eletrotécnica Ltda, em Uberaba, MG. Este projeto tem o apoio financeiro, através de bolsa DTI e IC, do CNPq.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1. Caracterização do Material

A caracterização do material foi feita através de micrografia e medição de dureza. Para a metalografia, uma amostra do material foi retirada de uma peça após o processo de fundição. Esta amostra foi lixada em sequência com lixas de granulação 240, 400, 600 e 1000. Em seguida a amostra foi polida com pasta de diamante de 3 μm para que ser então atacada com reagente de nital a fim de que sua microestrutura fosse revelada. Para a observação e análise da microestrutura foi utilizado um microscópio metalúrgico, com câmera digital acoplada ao mesmo.

Para a determinação da dureza, utilizou-se o durômetro Universal Wolpert (Panambra) - Otto Wolpert-Werke modelo Dia Testor 2 Rc com uma carga de 187,5 kgf e uma esfera de raio 2,5mm na escala Brinell.

2.2. Ensaio de Usinabilidade

Nesta etapa do trabalho foram realizados os testes de usinabilidade por meio do teste de pressão constante. Foi utilizada uma furadeira de coluna especialmente adaptada para este tipo de teste que contém um sistema de aplicação de uma força de avanço constante. A Figura 1 mostra a montagem experimental utilizada nos ensaios.



Figura 1: Montagem experimental do teste de usinabilidade de pressão constante.

Foi utilizada uma broca helicoidal de aço rápido sem revestimento de 8,0 mm de diâmetro a uma rotação de 500 rpm, que produz uma velocidade de corte na superfície de aproximadamente 13,0 m/min. Foi utilizada uma força de avanço constante de 60 N, através do sistema adaptado na furadeira. Foram utilizadas 4 amostras de diferentes lotes do mesmo material (Amostra 1, Amostra 2, Amostra 3 e Amostra 4). Para efeito de comparação, o mesmo teste foi realizado em um ferro fundido cinzento (Material 2), de dureza entre 180 e 210 HB. Este material foi escolhido para comparação por ser um material bastante uniforme em termos de microestrutura e composição química, além de ser um material considerado de boa usinabilidade. O ferro fundido cinzento é utilizado na fabricação de blocos de motor de combustão interna.

O material era usinado durante um tempo de 3 min, e em seguida era medida a profundidade de penetração da broca por meio de um relógio comparador. O valor da profundidade de penetração pode ser utilizado para classificação de diferentes metais com relação a sua usinabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização do Material

A Figura 2 mostra a micrografia obtida com o auxílio de microscópio metalúrgico. Observa-se na figura que o material é basicamente um Ferro Fundido Nodular de Matriz Perlítica. Os glóbulos (ou nódulos) de grafita e aglomerados de glóbulos na cor preta estão distribuídos pela matriz ferrítica ao fundo, na cor branca. Esta a característica marcante da classe de ferros fundidos nodulares.

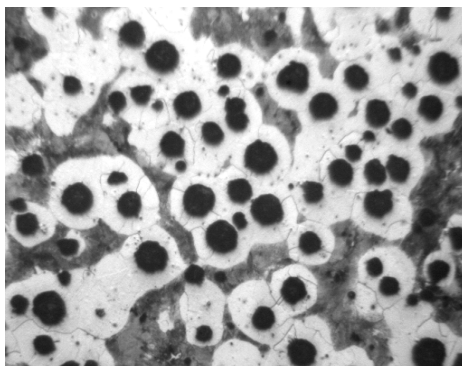


Figura 2: Micrografia do ferro fundido nodular.

Os valores de dureza obtidos ficaram na faixa entre 177 e 239 HB, muito próximos da faixa nominal especificada para este material, que é de 180HB a 230HB.

3.2. Ensaio de usinabilidade

Os resultados obtidos nos ensaios de usinabilidade com teste de pressão constante estão apresentados na Figura 3. Esta Figura mostra a variação de profundidade medida para cada material, inclusive para o material de referência (Material 2). Observa-se que todas as amostras do ferro fundido nodular (amostras 1, 2, 3 e 4) apresentaram uma profundidade maior de penetração, no mínimo 2 vezes maior, quando comparadas ao ferro fundido cinzento, mesmo com a considerável variação encontrada entre as 4 amostras do mesmo material. Percebe-se que em geral a profundidade média de penetração das amostras de ferro fundido nodular está em torno de 7 mm enquanto que para a amostra de ferro fundido cinzento (Material 2) é 2. Isto indica que quanto maior a profundidade de penetração da broca, melhor é a usinabilidade do material, pois o material oferece menor resistência à penetração da ferramenta. Esses resultados comprovam o que é geralmente relatado na literatura, que o ferro fundido nodular apresenta melhor usinabilidade que os ferros fundidos cinzentos. A notável dispersão observada nas profundidades de penetração das 4

amostras do ferro fundido nodular pode ser atribuída a uma não uniformidade do processo de fundição do material.

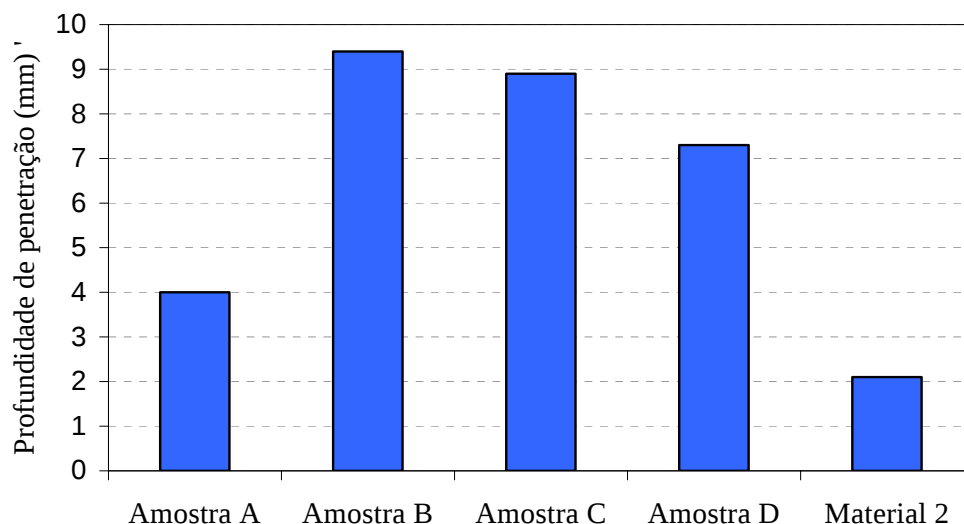


Figura 3: Resultados do teste de usinabilidade a pressão constante – profundidade de penetração x material

4. CONCLUSÕES

As seguintes conclusões podem ser tiradas deste trabalho:

1. O processo de caracterização do material, tanto por meio análise metalográfica quanto pela determinação da dureza, se mostrou eficiente na comprovação de que o material utilizado pela empresa A Eletrotécnica Ltda. era realmente o ferro fundido nodular.
2. Os resultados obtidos com teste de usinabilidade pela técnica de furação com pressão constante mostraram que o ferro fundido nodular permite alcançar maior profundidade de penetração, no mínimo 2 vezes maior, que o ferro fundido cinzento.
3. Os resultados mostram que o método de pressão constante é relativamente simples e permite determinar a usinabilidade de forma rápida e confiável.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFU, ao Engenheiro José Wilson Gomes, da empresa A Eletrotécnica Ltda, pela concessão de bolsa de IC e ao CNPq pelo apoio financeiro para a realização deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- Chiaverini, V., 1988. “Aços e ferros fundidos - Características gerais, tratamentos térmicos, principais tipos”, 6ª. edição ampliada e revisada, ABM, 576 pags.
- Da Silva, R. B., 2001 “Alargamento cônico do Ferro Fundido Nodular GGG 40”, Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 107 pags.
- Machado, A. R. e Da Silva, M. B., 2004, “Usinagem dos metais”, apostila, Universidade Federal de Uberlândia – EDUFU, 8ª. versão, 257 pags.
- Mills, B. and Redford, A.H., 1983, “Machining of Engineering Materials”, Applied Science Publications.

- Santos, S. C., 1999, “Furação de ferro fundido cinzento com brocas de metal duro”. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, abril – 1999, 108 pags.
- Std. 1018.712, 1989, “The Volvo Standard Machinability Test”, The Volvo Laboratory for MFG Research, Trollhattan, Sweden, 20 pags.
- Trent, E.M., 1984, “Metal cutting”, Second edition, Butterworths, England, ISBN 0-408-10856-8, 245 pags.
- Van Vlack, L.H., 1984, “Princípios de ciência e tecnologia dos materiais”, Editora Campus, 5ª. Edição, Rio de Janeiro-RJ, pp. 495-499.

INVESTIGATION OF THE MACHINABILITY OF THE NODULAR CAST IRON: FIRST PART

Rosemar Batista da Silva

rsilva@mecanica.ufu.br

Igor César Pereira

Deborah Oliveira Almeida

deborah@mecanica.ufu.br

Márcio Bacci da Silva

Federal University of Uberlândia, Faculty of Mechanical Engineering, Av. João Naves de Avila, 2.121, Uberlândia – MG, CEP. 38.408-100, Brazil.

mbacci@mecanica.ufu.br

Abstract: *The aim of this study is to characterize and analyse the microstructure of a nodular cast iron material as well as investigate its machinability by using drilling operation at constant feed force. Four samples of nodular cast iron obtained from different batch were used in machining trials. Comparative trials were also carried out at the same cutting conditions on machining grey cast iron grade. Machining trials were performed in a vertical drilling machine with uncoated HSS twist drill. The tests results show that the drilling operation at a constant feed force is an effective method to determine the machinability of materials. The nodular cast iron grade allowed to reach deeper penetration into the workpiece material, at least twice as much deeper, compared to the grey cast iron, hence confirming the better machinability of the former.*

Key-words: *machinability, nodular cast iron, drilling.*