

## **INVESTIGAÇÃO DA USINABILIDADE DE FERRO FUNDIDO NODULAR PRODUZIDO POR FUNDIÇÃO CONTÍNUA**

*José Aécio Gomes de Sousa; Wilson Luiz Guesser; Álisson Rocha Machado.*

Na indústria, o aumento na demanda pela busca de novos materiais está relacionado com o custo e a “eficiência/peso”. No esforço de alcançar estas exigências empregam-se novos materiais com resistência similar, mas com baixa densidade, ou aumenta-se a resistência de materiais tradicionais por meio da adição de elementos de liga ou por tratamento térmico (PETRY, 1999). A escolha depende de parâmetros tais como carregamentos mecânico e térmico ou condições de contorno como custos de manufatura, reciclagem, aceitação do público e usinabilidade (KLOCKE et al., 2007). Nesta lista, englobam-se os ferros fundidos que, quase sempre, oferecem boa usinabilidade e baixo custo de produção (BARBOSA et al., 2007).

Juntamente com os aços, os ferros fundidos são os materiais mais utilizados pela indústria, sendo aplicado em diversos setores, não só devido às suas características inerentes, como também sua imensa versatilidade (DAWSON e SCHOROEDER, 2004). Os ferros fundidos podem apresentar diversas características mecânicas, dependendo dos elementos de liga presente ou do tratamento térmico submetido (GUESSER, 2009). Em qualquer ferro fundido, a característica microestrutural de efeito significativo nas propriedades físicas e mecânicas é a presença da grafita pura (TELES, 2007). A grafita possui resistência mecânica muito baixa (GOODRICH, 2003 citado por GUESSER, 2009).

O avanço em pesquisas de ferros fundidos tem recebido, continuamente, importantes desenvolvimentos, tanto em processos de fabricação como em materiais. Tais desenvolvimentos, resultantes de necessidades nas áreas de aplicação, ou ainda de redução de custos, trazem como consequência a atualização tecnológica de um material de longa tradição de uso na indústria automobilística (GUESSER et al., 1997). A grande aplicação dos ferros fundidos em peças automotivas (tambores de freio, coletores de escapamento, cabeçotes e, principalmente, blocos de motores, incluindo os motores diesel) dá origem à necessidade de um aprimoramento em pesquisas, com o objetivo de melhor entender o desempenho destes materiais perante aos diversos tipos de processos de fabricação (GHANI et al., 2002; SHARMAN et al., 2001).

A preocupação de toda a indústria de transformação é produzir peças funcionais e de baixo custo. A forma de qualquer peça é definida pela sua aplicação e pelo seu processo de obtenção (FATAHALLA e HUSSEIN, 1996). No processo de fundição convencional, tem-se o setor de modelação, o setor de moldagem, o setor de macharia, para, então, chegar ao setor de fusão e, posteriormente, na usinagem (JAVOID et al., 2000). O processo de fundição contínua é uma alternativa interessante na produção de componentes com geometria simples (perfis redondos, quadrados, retangulares, entre outros). Este processo apresenta custo de moldagem muito inferior aos processos de fundição em areia, pois os perfis utilizam uma matriz de grafite refrigerada que determina sua forma final. Entretanto, os componentes sofrem uma usinagem intensa para atingir seu formato final (DAWSON e WURTEMBERG, 1994; MARWANGA et al., 1999; FUCO, 1998).

Em perfis produzidos por fundição contínua, deseja-se que o material na superfície apresente uma elevada usinabilidade, enquanto que o material no núcleo da barra deve apresentar propriedades mecânicas que sejam suficientes para resistir às solicitações ao que o mesmo é submetido.

Para manter a competitividade, muitas empresas estão investindo em tecnologia para orientar os trabalhos industriais. Os custos relativos aos materiais industriais estão sendo reduzidos por efetivos controles de qualidade e a correta especificação de materiais. Expressar informações quantitativas de ferros fundidos nodular como as características da grafita, presença de carbonetos, perlita e outros constituintes em termos de seus próprios volumes, fração em volume, tamanho, forma, espaçamentos e distribuição são essenciais na competitividade industrial, pois, dessa forma, garantem um material de qualidade e, por consequência, a satisfação do cliente.

A fundição contínua representa uma importante alternativa na fabricação de peças de ferro fundido. O produto resultante deste processo de fabricação é mais longo do que o molde, possibilitando, assim, a fabricação de barras nas mais variadas geometrias, e que, posteriormente, serão usinadas. Porém, existem dúvidas que este tipo de processo de fabricação produz uma heterogeneidade ao longo da seção transversal da peça fabricada, o que pode ocasionar diferentes níveis de usinabilidade ao longo da seção transversal do material fundido. Dessa forma, a realização deste trabalho, que será de natureza científica e tecnológica, torna-se justificada por não existir muitas pesquisas publicadas sobre usinagem de ferro fundido nodular produzido por fundição contínua e, principalmente, por não encontrar na literatura trabalhos direcionados ao estudo que esta tese propõe, isto é, determinar a variação de usinabilidade ao longo da seção transversal de barras fundidas.

O objetivo geral deste trabalho é verificar o comportamento da usinabilidade ao longo da seção transversal do ferro fundido nodular produzido por fundição contínua em diferentes bitolas. Também será verificada a correlação das variáveis que controlam a usinabilidade e a respectiva resposta das propriedades mecânicas.

Ao longo dos testes, serão realizados ensaios de furação constante, torneamento e fresamento. Os parâmetros avaliadores serão: evolução do desgaste da ferramenta, vida da ferramenta, forças de usinagem, tempo de usinagem e potência efetiva de corte, além da rugosidade superficial.

Os testes irão proporcionar resultados que permitirão a comparação da usinabilidade ao longo da seção transversal de uma mesma bitola, além de possibilitar detectar possíveis variações de usinabilidade entre as diferentes bitolas do material. Todos os testes serão realizados no Laboratório de Pesquisa e Ensaio em Usinagem da Universidade Federal de Uberlândia.

A metodologia do presente trabalho consiste na investigação do comportamento da usinabilidade ao longo da seção transversal de peças de ferro fundido nodular produzido por fundição contínua será feita por furação (teste de força constante), torneamento e fresamento, através da análise do tempo de usinagem, forças de corte, torque, potência, desgaste da ferramenta, vida da ferramenta e rugosidade da superfície usinada. Serão variadas as condições de corte (velocidade, avanço e profundidade de corte) e as condições geométricas do material (diâmetro).

A caracterização das ligas será feita em termos de microestrutura, dureza, ductilidade e resistência. Para a análise de microestrutura as seções transversais das amostras serão lixadas utilizando-se lixas d'água nas granulometrias #320, #400, #600 e #1200 *mesh*, polidas com pastas adiamantadas de 3  $\mu$ m e atacadas com o reativo de Nital.

Uma vez caracterizada a microestrutura das seções transversais das amostras, as mesmas serão submetidas ao teste de dureza (*Brinell*), utilizando-se uma esfera de  $\varnothing$  2,5 mm e carga de 31,52 kg. Também serão realizados ensaios de tração para medição do alongamento, limite de escoamento e resistência. É importante ressaltar que cada teste será executado no mínimo de 05 vezes com o objetivo de verificar o comportamento médio, desvio-padrão e incertezas das medidas.

Logo após a caracterização das amostras, serão realizados ensaios de furação com força de avanço constante para verificar, e quantificar, o nível de usinabilidade na seção transversal das amostras. Após a análise dos resultados obtidos, os testes de torneamento serão iniciados. Por fim, serão realizados alguns experimentos de fresamento no material de teste. Os testes de torneamento serão realizados em amostras cilíndricas, enquanto que os de fresamento em barras prismáticas. Para todos os testes citados acima, a realização de pré-testes será de fundamental importância para adequação das variáveis do processo, principalmente as condições de corte.

Neste trabalho também será realizado testes de quick-stop. Nestes experimentos serão preparados anéis com 40 mm de espessura do material a ser usinado e um dispositivo de fixação dos mesmos, onde o anel será acoplado ao dispositivo de fixação e, após a usinagem, apenas ele será retirado, facilitando, assim, a retirada do cavaco e liberando a máquina para realizar um novo ensaio. Os materiais analisados também serão testados de forma a se caracterizar suas principais propriedades (dureza, micrografia e resistência mecânica) e cada procedimento descrito deverá ser repetido cinco vezes para se obter média, desvio-padrão e incertezas das medidas.

Uma vez com os resultados das grandezas investigadas nos experimentos (tempo de usinagem, forças de corte, torque, potência, desgaste da ferramenta, vida da ferramenta e rugosidade da superfície usinada), serão feitos testes de hipóteses com o objetivo de analisar se há diferenças ao longo do raio de cada amostra e se há, também, diferenças entre amostras com diâmetros diferentes.

Como etapa final dos estudos será elaborada a redação da tese que culminará na junção da revisão bibliográfica, procedimentos experimentais, resultados, análise e discussão dos resultados e conclusões finais em um documento padrão de apresentação de trabalhos acadêmicos, conforme norma acadêmica da UFU. Neste período também será feito publicações de artigos para divulgação de resultados obtidos sobre a usinabilidade do material estudado.

## REFERÊNCIAS

BARBOSA, P. A.; COSTA, E. S.; MACHADO, A. R., 2007, **“Usinabilidade do ferro fundido austemperado e nodular perlítico em furação”**, 17º Simpósio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia;

DAWSON, S., WURTEMBERG, M. V., 1994, **“Experiências Práticas com Ferro Fundido de Grafita Compacta como Material para Componentes Automotivos”**, Baseado no trabalho apresentado no 26º ISATA, Aachen, Alemanha;

FATAHALLA, N., HUSSEIN, O., 1996, **“Metallurgical parameters, mechanical properties and machinability of ductile iron”**, Journal of Materials Science, vol. 31, p 5765 – 5772;

FUCO, 1998, **“Perfis de fundição contínua”**, Joinville: Indústria de fundição Tupy, Manual Técnico;

GHANI, A. K., CHOUDHURY, I. A., HUSNI, G., 2002, **“Study of tool life, surface roughness and vibration in machining nodular cast iron with ceramic tool”**, Journal of Materials Processing Technology, v 127, p 17–22;

GOODRICH, W. L., 2003, **“Iron castings engineering handbook”**, AFS;

GUESSER, W. L., GUEDES, L. C., 1997, **“Desenvolvimentos recentes em ferros fundidos aplicados à indústria automobilística”**, IX Simpósio de Engenharia Automotiva - AEA, São Paulo – SP;

GUESSER, W. L., 2009, **“Propriedades Mecânicas dos Ferros Fundidos”**, Editora Edgard Blucher, São Paulo – SP, 1ª ed., p 309;

JAVOID, A., DAVIS, K. G., SAHOO, M., 2000, **“Effect of chemistry and processing variables on mechanical properties of thin wall ductile iron castings”**, Transactions of the American Foundrymen's Society, vol. 108, p 191 – 200;

KLOCKE, F., KLÖPPE, C., LUNG, D., ESSIG, C., 2007, **“Fundamental wear mechanisms when machining austempered ductile iron (ADI)”**, CIRP vol. 56, p 73-76;

MARWANGA, R. O., VOIGT, R. C., COHEN, P. H., 1999, “Influence of Graphite Morphology and Matrix Structure on Chip Formation During Machining of Gray Irons”. AFS Transactions, v 80, p 595-607;

PETRY, C. C. M., 1999, **“Avaliação das propriedades de impacto e dos mecanismos de fratura de ferros fundidos nodulares ferríticos”**, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS;

SHARMAN, A., DEWES, R. C., ASPINWALL, D. K., 2001, **“Tool life when high speed ball nose end milling Inconel 718TM”**, Process. Technologies, v 118, p 29–35;