

USINABILIDADE DE FERRO FUNDIDO AUSTEMPERADO E NODULAR PERLÍTICO EM FURAÇÃO

Patrícia Alves Barbosa

Éder Silva Costa

Álison Rocha Machado

Faculdade de Engenharia Mecânica - Universidade Federal de Uberlândia/MG Campus Santa Mônica, CEP 38408-902
patricia026_eng@hotmail.com, eder@div.cefetmg.br, alisonm@mecanica.ufu.br.

Resumo: *O ADI (austempered ductile iron) é um ferro fundido nodular tratado termicamente, que surgiu recentemente como um dos principais materiais de engenharia, devido as suas propriedades atrativas tais como boa ductilidade, tenacidade e alta resistência mecânica, ao desgaste e a fadiga. Comparado com o ferro fundido nodular o ADI apresenta uma maior dificuldade de usinagem por se tratar de um material endurecido, e este grau de dureza é influenciado pela temperatura de austêmpera em que o material é submetido. Outro fator que reduz a usinabilidade do ADI é atribuído a austenita retida que pode se transformar em martensita durante a usinagem. Devido a estes motivos têm-se intensificado pesquisas sobre a usinabilidade do ADI. O objetivo deste trabalho é comparar a usinabilidade de três materiais: o ferro fundido nodular perlítico bruto-de-fundição (DI) e dois tipos de ferro dúctil austemperado, um ADI austenitizado a 900°C por 2h e austemperado a 360°C por 2h e outro ADI austenitizado dentro da zona crítica (austenitizado a 780°C por 5h e austemperado a 360°C por 2h), no processo de furação. Para comparar a usinabilidade dos materiais propostos será realizado teste de vida, segundo um planejamento fatorial 2^k , adotando-se como critério de fim de vida o colapso da broca. Para tanto, será feito o monitoramento da taxa de desgaste da ferramenta, da força de corte, da potência consumida, da vibração, da quantidade e da qualidade dos furos produzidos. Análises metalográfica e de microdureza também serão necessárias para verificação e estudo de possíveis transformações martensíticas durante a usinagem dos ADIs.*

Palavras-chave: *usinabilidade, furação, ferro fundido nodular perlítico, ferro fundido nodular austemperado.*

1. INTRODUÇÃO

Classicamente “A usinabilidade é definida como sendo uma grandeza que indica a facilidade ou dificuldade de se usinar um material”, salientado que esta não é uma propriedade do material e sim uma função do teste e das condições investigadas (Machado e da Silva, 2004). Das grandezas consideradas inerentes ao processo que podem ser apresentadas como índice de usinabilidade estão: a força de corte, potência consumida, vida da ferramenta, acabamento da superfície, taxa de desgaste, temperatura de corte e controle do cavaco.

Uma grande contribuição de ensaios de usinabilidade é a possibilidade de geração de bancos de dados que é dificultada pela quantidade de materiais de processamento em geral e materiais de ferramenta, além dos processos de usinagem utilizados. Para maior confiabilidade destes bancos de dados devem-se utilizar critérios e procedimentos padronizados para que seja possível a transferência e utilização dos dados gerados, sem restrições.

No entanto, a maioria dos resultados de testes de usinabilidade publicados se referem ao torneamento, por isso o interesse em ampliar os estudos para outros processos de usinagem como a furação que é o processo mais utilizado na indústria, cerca de 25% em tempo de usinagem e 33% em números de operações de todos os processos empregados (Tönshoff, citado por Santos, 2002).

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 através da adição de elementos de liga ou por tratamento térmico. 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.

A história do ferro fundido dúctil, também conhecido como nodular, tem sido influenciada por um número de desenvolvimentos técnicos que tem resultado nas novas oportunidades de negócios para as indústrias de fundição. Estes possuem boa fundibilidade, capacidade de amortecimento e propriedades mecânicas (ductilidade, tenacidade e resistência) e usinabilidade apropriada. Devido a estas vantagens têm sido utilizados em muitas aplicações estruturais. Cames, virabrequins, carcaça de bombas, válvulas e articulações de direção são exemplos importantes da utilização de ferro dúctil em veículos (Toktas et al, 2006).

O ferro nodular austemperado (ADI), é um ferro fundido nodular tratado termicamente, que surgiu recentemente como um dos principais materiais de engenharia, devido as suas propriedades atrativas tais como boa ductilidade, tenacidade e alta resistência mecânica, ao desgaste e a fadiga. Por estas propriedades únicas, o ADI é agora usado extensivamente em muitas aplicações estruturais na indústria automotiva, bélica, maquinários agrícolas entre outras.

Comparado com o ferro fundido nodular o ADI apresenta uma maior dificuldade de usinagem por se tratar de um material endurecido, e este grau de dureza é influenciado pela temperatura de austêmpera em que o material é submetido. Outro fator que reduz a usinabilidade do ADI é atribuído a austenita retida que pode se transformar em martensita durante a usinagem (Seah e Sharma, 1994). Devido a estes motivos têm-se intensificado pesquisas sobre a usinabilidade do ADI.

O objetivo deste trabalho é comparar a usinabilidade de três materiais: o ferro fundido nodular perlítico bruto-de-fundição e dois tipos de ferro dúctil austemperado, um ADI austenitizado a 900°C por 2h e austemperado a 360°C por 2h e outro ADI austenitizado dentro da zona crítica (austenitizado a 780°C por 5h e austemperado a 360°C por 2h), no processo de furação. Para tanto, será feito o monitoramento da taxa de desgaste da ferramenta, da força de corte, da potência de usinagem, da vibração, da quantidade e da qualidade dos furos produzidos.

2. MÉTODO PROPOSTO

2.1 Procedimento Experimental

Para comparar a usinabilidade dos materiais propostos será realizado teste de Vida da Ferramenta, que para o processo de furação recomenda-se como critério de fim de vida o colapso da broca, segundo a norma NORTEST NT MECH 038 (1997), no qual a vida é quantificada com relação ao número de furos usinados até a falha catastrófica da ferramenta. Poderá ser adotado, também, um critério de fim de vida baseado em um nível de desgaste de flanco, caso o número de furos necessários para o colapso venha a ser demasiadamente grande. Isto será definido em pré-testes.

Os testes de fim de vida serão realizados, segundo um planejamento fatorial 2^k , que permitirá analisar a significância das variáveis de entrada. A Tabela 1 apresenta estes fatores, que serão variados em dois níveis, dos quais dois são fatores quantitativos (V_c e f) e dois são qualitativos (fluido de corte e material). Este planejamento também será utilizado para comparar primeiramente os dois tipos de ADI, e o melhor deles será comparado com o Nodular Perlítico (DI), ou seja, serão realizados dois planejamentos 2^4 , sendo que para a última comparação serão realizados apenas oito ensaios referentes ao Nodular Perlítico, uma vez que poderemos utilizar os resultados referentes ao melhor ADI comparado anteriormente. Serão necessárias mais uma réplica dos ensaios, para avaliar a reprodutividade dos resultados. A Tabela 2 apresenta a configuração do planejamento proposto.

Tabela 1: Variáveis de entrada à dois níveis.

Variável	nível(-1)	nível(+1)
Velocidade de corte (Vc) [m/min]	80	100
Avanço (f) [mm/volta]	0,2	0,25
Fluido de corte	Jorro	MQF
Material da peça	ADI I / DI	ADI II / DI

Tabela 2: Planejamento Fatorial 2⁴.

Ensaio	V _c (m/min)	f (mm/volta)	Fluido de Corte	Material
1	-1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1	-1
3	-1	1	-1	-1
4	1	1	-1	-1
5	-1	-1	1	-1
6	1	-1	1	-1
7	-1	1	1	-1
8	1	1	1	-1
9	-1	-1	-1	1
10	1	-1	-1	1
11	-1	1	-1	1
12	1	1	-1	1
13	-1	-1	1	1
14	1	-1	1	1
15	-1	1	1	1
16	1	1	1	1

Concluída a análise de significância das variáveis do planejamento 2⁴ acima, deverá ser realizado um Planejamento Composto Central (PCC), com o objetivo de otimizar as condições de corte para o material que obtiver o melhor resultado. Sabendo que o PCC utiliza apenas as variáveis quantitativas do processo, será, portanto, realizado um PCC 2², referente às duas variáveis (Vc e f), apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Planejamento Composto Cental 2².

Ensaio	V _c (m/min)	f (mm/volta)
1	-1,00	-1,00
2	-1,00	1,00
3	1,00	-1,00
4	1,00	1,00
5 (C)	0,00	0,00
6	-1,08	0,00
7	1,08	0,00
8	0,00	-1,08
9	0,00	1,08
10 (C)	0,00	0,00

Como critérios de usinabilidade serão monitorados as seguintes variáveis de saída:

- Números de furos produzidos;
- Taxa de desgaste (desgaste de flanco);

- Força de corte;
- Potência consumida;
- Vibração;
- Qualidade do furo (parâmetro R_a).

Além dos critérios de usinabilidade que serão estudados, também serão realizados ensaios metalográficos e de microdureza na parede do furo para analisar possíveis transformações martensíticas ocorridas durante o processo de furação dos ADIs.

2.2. Aparato Experimental

Para a execução do trabalho será necessária a utilização dos seguintes equipamentos:

- Centro de Usinagem CNC Discovery 760 da marca Romi: para a execução dos ensaios de furação;
- Dinamômetro Piezoelétrico 9123C1211 da marca Kistler: para o monitoramento da força de corte;
- Acelerômetro: medição de vibração;
- Estéreo Microscópio SZ6145TR – Olympus e Sistema e análise de imagens, Image-Pro: para o monitoramento da taxa de desgaste da ferramenta;
- Sensores de efeito Hall e placa de conversão e aquisição de sinais PCI-6035E da National Instruments: para medição de potência;
- Rugosímetro da marca Taylor Hobson: para a medição da qualidade dos furos (parâmetro R_a);
- Microdurômetro: análise de microdureza.

2.3. Ferramenta e Material de Trabalho

- Ferramenta: broca helicoidal de metal duro, K20, sem revestimento e $\varnothing = 10$ mm;
- Material de trabalho:
 - DI: Ferro Fundido Nodular Perlítico bruto-de-fundição;
 - ADI I: ADI austenitizado a 900°C por 2h e austemperado a 360°C por 2h;
 - ADI II: ADI austenitizado dentro da zona crítica (austenitizado a 780°C por 5h e austemperado a 360°C por 2h).

Os corpos de prova, fornecidos pela Tupy, estão dispostos em forma de bolachas com diâmetro de 104 mm e espessura de 30 mm, como mostrado na Figura 1, nos quais serão executados furos passantes com distância mínima entre furos de 1,7 mm para o maior aproveitamento dos corpos de prova.

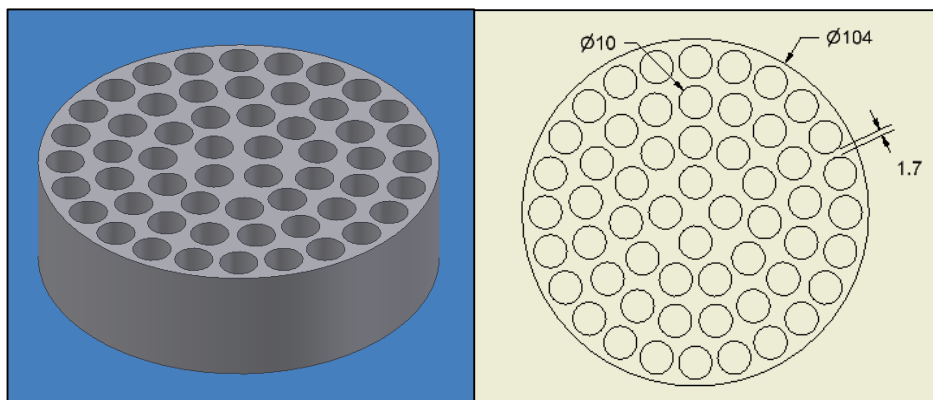


Figura 1: Dimensões e Distribuição dos Furos Passantes no Corpo de Prova.

3. ETAPAS

Para a execução do trabalho proposto devem ser seguidas as etapas apresentadas a seguir.

3.1. Revisão Bibliográfica

Para atingir o objetivo deste trabalho será feita revisão bibliográfica durante todo o período da realização da pesquisa através de leitura de artigos, normas, livros, apostilas, teses e dissertações referentes ao assunto.

3.2. Pré-testes

Serão necessários pré-testes para avaliar se as condições pré-estabelecidas podem realmente ser utilizadas para a realização do trabalho ou se deverá ser feita alguma alteração em algum parâmetro fixado.

3.3. Testes

Após a realização dos pré-testes e confirmada as condições de corte será então fixada a sequência de testes a ser desenvolvida nesta etapa, a qual foi descrita no item 2.

3.4. Análise dos Resultados

A etapa de análise de resultados será realizada a partir de um Planejamento Estatístico Fatorial 2^k , na qual se determinará a existência de significância dos parâmetros de usinagem sobre as variáveis de saída. A análise e comparação da usinabilidade dos materiais estudados serão realizadas segundo um Planejamento Fatorial com Duas Classificações (Quadro de ANOVA-Two Way). Os resultados também serão analisados a partir de gráficos e tabelas comparativas.

3.5. Confecção do relatório final e artigo para publicação

Os dados provenientes da pesquisa permitirão um esclarecimento sobre a usinabilidade dos materiais em questão e a otimização dos parâmetros de usinagem para o material com melhor desempenho. Portanto, após a realização dos testes e análise dos resultados pretende-se repassá-los para a comunidade científica por meio de publicações em congressos, periódicos e defesa pública de dissertação.

4. CRONOGRAMA

O cronograma de atividades será desenvolvido de acordo com a Tabela 4, obedecendo à ordem mensal do período que vai de agosto de 2008 a julho de 2009.

Tabela 4: Cronograma de Atividades.

Etapa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3.1												
3.2												
3.3												
3.4												
3.5												

5. AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos às agências de fomento: CAPES, FAPEMIG, CNPq e IFM, a fundição Tupy pelo fornecimento dos corpos de prova e à DORMER pelo fornecimento das ferramentas.

6. REFERÊNCIAS

- Machado, A.R. e da Silva, M.B., 2004, “Usinagem dos Metais”, Apostila da disciplina Usinagem dos Metais do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, 8a versão, 257p.
- NORDTEST NT MECH 038, 1997, “Cutting Fluids for Drilling: Evaluation by Drill Life Test”, Published by NORDTEST.
- Klocke, F.; Klöppe, C.; Lung, D. and Essig, C., 2007, “Fundamental Wear Mechanisms when Machining Austempered Ductile Iron (ADI)”, CIRP vol. 56, pp 73-76.
- Santos, S.C., 2002, “Estudo da Influência de Resvestimentos e da Aplicação de Fluido de Corte no Desempenho de Brocas de Metal Duro Integral na Usinagem de Ferro Fundido Cinzento”, Tese de Doutorado – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- Seah, K. H. W. and Sharma, S.C., 1994, “Machinability of alloyed austempered ductile iron”, Int. J. Mach. Tools Manufact. Vol. 35. No. 10., pp 1475-1479.
- Toktas, G.; Tayanç, M. and Toktas, A., 2006, “Effect of matrix structure on the impact properties of an alloyed ductile iron”, Materials Characterization Vol. 57, pp 290-299.

MACHINABILITY OF AUSTEMPERED DUCTILE AND NODULAR PEARLITIC CAST IRONS IN DRILLING

Patrícia Alves Barbosa

Éder Silva Costa

Álison Rocha Machado

Department of Mechanical Engineering – Federal University of Uberlândia, Campus Santa Mônica, CEP 38408-902
patricia026_eng@hotmail.com, eder@div.cefetmg.br, alissonm@mecanica.ufu.br.

Abstract: *Austempered ductile cast iron (ADI) is an alloyed and heat treated nodular cast iron that has emerged as a major engineering material in recent years because of its attractive properties such as good ductility, fracture toughness and high strength, good wear resistance and high fatigue strength. The ADI is more difficult to machine than ductile cast iron, due to its higher hardness and the degree of hardness is influenced by the austempering temperature. Other factor that reduces the machinability the ADI is attributed the untransformed retained austenite which can transform in martensite during machining. For these reasons research about machinability of ADI has been intensified. The aim of the present work is to compare the machinability of three materials: pearlitic ductile iron as-cast (DI) and two types of austempered ductile cast iron, one ADI austenitized at 900°C for 2h and austempered at 360°C for 2h, and other ADI austenitized inside of the critical zone (austenitized at 780°C for 5h and austempered at 360°C for 2h), in drilling process. To compare the machinability of these materials tool life tests will be carried out, following a factorial planning 2^k, adopting as criterion of end of tool life the complete failure of the drill. The following parameters will be controlled: the wear rate, the cutting force, the power consumption, vibration and the quality of holes produced. Metallographic and microhardness analysis will also be done to check and to study the possible martensite transformations during at machining of the ADIs.*

Keywords: *machinability, drilling, pearlitic ductile cast iron, austempered ductile cast iron.*