



XXIV CREAM
Congresso Nacional de Estudantes
de Engenharia Mecânica



Universidade Federal
do Rio Grande



INSTITUTO FEDERAL
RIO GRANDE DO SUL
Campus Rio Grande

XXIV Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica – 11 a 15/09/2017 – Rio Grande - RS

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO SENTIDO DE CORTE NO FACEAMENTO DE ACABAMENTO DO FERRO FUNDIDO CINZENTO UTILIZANDO FERRAMENTAS DE METAL DURO

Hector Di Maiochi
Cleiton de Quadros
Nathan Bitencourt Pereira
Gil Magno Portal Chagas
Tiago da Silva

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Campus Geraldo Werninghaus
Rua dos Imigrantes nº445 – Rau – Jaraguá do Sul/SC
hector.maiochi@gmail.com

RESUMO: O uso do ferro fundido cinzento na fabricação de discos de freio é amplamente aceito devido ao seu menor valor de condutividade térmica entre a interface pastilha/disco. Porém melhores acabamentos são exigidos das faces de atrito, pois reduz o desgaste das pastilhas de freio. Para este estudo foi analisado o sentido de corte do faceamento dos corpos de prova com ferramentas de metal duro, variando também a taxa de avanço e a velocidade de corte, mantendo a mesma profundidade. Foi avaliado o desgaste da ferramenta e a rugosidade Ra e Rz, com esses resultados foi possível fazer uma análise de variância e uma regressão linear múltipla. Os resultados mostraram que o sentido de corte não influenciou diretamente na rugosidade.

Palavras-Chave: Ferro Fundido, Metal Duro, Desgaste da Ferramenta.

ABSTRACT: The usage of grey cast iron in production of brake discs it is highly accepted due to its lesser thermal conductivity value between the brake pad and brake disc. However best finishings are required from the sides of friction, for it reduces the wear of the brake pads. For this study the direction of the cut it has been analyzed the facing of the specimens with tools of carbide tools, varying the rate of advance and cutting velocity, keeping the same depth. It has been evaluated the tool wear and roughness of Ra and Rz, these results made possible the analysis of a variance and a multiple linear regression. The results also show that the direction of the cut did not directly affect the roughness.

Keywords: Cast Iron, Carbide Tool, Tool Wear.

INTRODUÇÃO

Na indústria automobilística os ferros fundidos têm grande empregabilidade na construção de discos e tambores de freio, o que faz com que seja necessária uma maior condutividade térmica, a fim de diminuir a temperatura na interface pastilha/disco (Souto, 2002). O aumento da grafita na composição química do ferro fundido pode ajudar nessa condutividade térmica, agindo como lubrificante na interface de trabalho, porém a alta concentração de carbono, que gera maior quantidade de grafita, pode fazer com que o material apresente uma maior rugosidade após a sua usinagem, resultado do arrancamento dos grãos de grafita (Guesser, 2003).

Esse arrancamento dos grãos de grafita é conhecido como *open grain*, e são indesejáveis por dois motivos, um é o aumento da rugosidade superficial, que provoca um desgaste prematuro das pastilhas, e o outro é o surgimento de cavidades superficiais, podendo gerar pontos de concentração de tensão, resultando no favorecimento de trincas mecânicas ou térmicas, diminuindo a resistência a fadiga, e por consequência, a vida útil dos discos de freio (Souto, 2002).

Outro fator a ser observado na usinagem de materiais como o ferro fundido é a vida útil da ferramenta, pois em um processo produtivo, além da qualidade, o custo se torna um fator crucial para este processo de fabricação. Na usinagem em altas velocidades de corte utilizando ferramentas a base de nitreto de silício o ferro fundido apresenta um aumento da sua vida útil quando trabalhado em velocidades de corte na faixa dos 700 aos 1400 m/min (Pereira, 2012). Esse fenômeno tem como responsável a formação de Sulfeto de Manganês no gume de corte da ferramenta (Abele *et al.* 2002).

Como em algumas empresas o uso de ferramentas adequadas representa um gasto considerado muitas vezes desnecessário, a melhor opção encontrada para esta pesquisa foi a utilização de ferramentas de metal duro. O metal duro apesar do seu baixo rendimento se comparado com outros materiais para ferramentas como a cerâmica ou o CBN, ainda é apresentado como uma ótima opção no corte de ferro fundido, pois a sua composição a base de WC-Co apresenta grande resistência ao desgaste, ainda que nos últimos anos o metal duro tenham recebido a adição de TiC, VC, TaC e outros tipos de carbonetos (Souto, 2002).

METODOLOGIA.

Materiais e ferramentas

Para os testes foi utilizado uma coroa circular de ferro fundido FC200 com diâmetro externo de 240mm, diâmetro interno de 140mm e espessura de 75mm como mostra a figura 1. A figura 2 indica a composição química do corpo de prova.

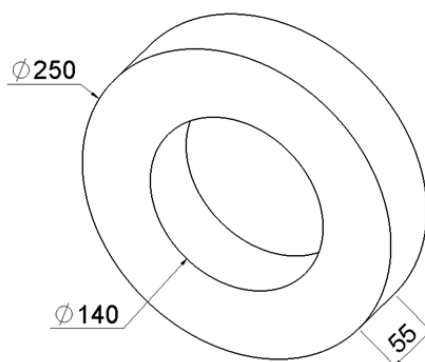


Figura 1. Corpo de Prova em milímetros

	C	S	P	Si	Mn	Cu	Ni	Cr	Fe	Impurezas
%	3,496	0,0759	0,0351	2,036	0,487	0,048	0,014	0,038	93,75	0,02

Figura 2. Composição química do matéria do corpo de prova

Foi utilizada uma ferramenta de metal duro da marca Lâmina com código TNMA 080408 YBD 152 e um suporte MTJNR 2020 K16, na qual foi usada em um torno CNC da marca ROMI GL240 para a realização dos ensaios. Antes da realização os ensaios todas as faces e diâmetros foram usinados para a retirada de possíveis inclusões ou defeitos que pudessem interferir nos resultados.

Parâmetros de corte

Foi optado por não seguir estritamente os parâmetros indicados pelo fabricante, sendo que esses parâmetros são geralmente aconselhados para a usinagem cilíndrica externa, e não para o faceamento, conforme se buscou estudar neste trabalho. Após a pesquisa, foi decidido que para o estudo da influência dos parâmetros e o sentido de corte no faceamento de peças em ferro fundido seriam utilizados os seguintes valores mostrados na tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros de corte utilizados e sentidos de corte

Velocidade de corte (m/min)	150	300	600
Avanço (mm/rot)	0,05	0,075	0,1
Sentido de corte	Periferia - Centro	Centro - Periferia	-

A profundidade de corte não apresenta grande influência sobre o desgaste da ferramenta (Ferraresi, 1970; Machado *et al.* 2009), e para o acabamento não poderia ser feito grandes variações em virtude do tipo de ferramenta e

do tipo de fixação da peça, por isso foi utilizado uma profundidade de corte constante de 0,3mm para cada passe e repetindo essa operação por dez vezes, resultando na retirada de 3,0mm para cada interação dos parâmetros. A sequência das interações é apresentada na tabela 2.

Tabela 2. Sequência das interações

n° do ensaio	Velocidade de Corte	Avanço	Sentido de corte
1	150	0,05	Periferia - Centro
2	300	0,05	Periferia - Centro
3	600	0,05	Periferia - Centro
4	150	0,05	Centro - Periferia
5	300	0,05	Centro - Periferia
6	600	0,05	Centro - Periferia
7	150	0,075	Periferia - Centro
8	300	0,075	Periferia - Centro
9	600	0,075	Periferia - Centro
10	150	0,075	Centro - Periferia
11	300	0,075	Centro - Periferia
12	600	0,075	Centro - Periferia
13	150	0,1	Periferia - Centro
14	300	0,1	Periferia - Centro
15	600	0,1	Periferia - Centro
16	150	0,1	Centro - Periferia
17	300	0,1	Centro - Periferia
18	600	0,1	Centro - Periferia

Métodos e Avaliação dos Resultados

Para verificação do desgaste da ferramenta foi utilizado um estereoscópio da marca Zeiss modelo Stemi 2000-C com ampliação de 5x, na qual foi medido o desgaste de flanco (Vb), o gume de corte e a ponta da ferramenta. Como os ensaios tiveram curta duração, as ferramentas apresentaram pouco desgaste, tanto na superfície de flanco como no gume de corte, porém a medição desses do desgaste foi necessária para este estudo, pois alguns parâmetros apresentaram resultados bem significativos.

O acabamento superficial foi avaliado com um rugosímetro da marca TESA modelo Rugosurf 20, onde foi adotado como parâmetro de medida a Ra e Rz, sendo que o valor de Ra é o valor mais importante para esta pesquisa, pois é um dos parâmetros mais utilizados no controle contínuo em linhas de produção. Já os valores de Rz foram obtidos por definir bem a superfície avaliada por se tratar de um perfil constante, e também por apresentar apenas parcialmente riscos isolados para a avaliação da superfície. Para que os resultados das medições de rugosidade pudessem expressar com mais precisão, foi feita uma análise em diferentes pontos do corpo de prova, conforme mostra o esquema da figura 3, sendo três medições feitas na parte da periferia da peça e outras três na parte do centro, ambas as medições foram feitas a aproximadamente 120°.

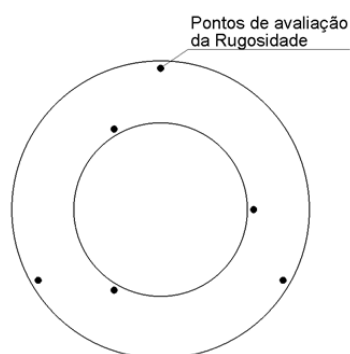


Figura 3. Pontos de avaliação da rugosidade

Com os valores de rugosidade foi feito uma análise de variância para indicar se os parâmetros escolhidos no processo afetam ou não no resultado final através do Valor-P, e com uma análise de regressão linear pode se chegar a uma equação para uma estimativa de rugosidade para testes posteriores. Para a resolução da regressão linear foi utilizado o software Scilab.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Rugosidade

No faceamento no sentido periferia/centro a rugosidade mostrou-se menor que $0,8\mu\text{m}$ quando utilizado velocidade de corte de 600m/min em todos os avanços. Para a velocidade de corte de 300m/min apenas com o avanço de 0,1mm/rot foi obtido a rugosidade especificada. Para o sentido de corte centro/periferia apenas na velocidade de corte de 600m/min foi obtido uma rugosidade menor que $0,8\mu\text{m}$, porém somente para o avanço de 0,05mm/rot, sendo que para a velocidade de corte de 300m/min os avanços de 0,05 e 0,075 mm/rot alcançaram valores próximos ao desejado. Os resultados de rugosidade Ra e Rz obtidos através dos ensaios são mostrados na tabela 3.

Tabela 3. Resultados dos valores de rugosidade Ra e Rz

nº do ensaio	Média dos valores Ra (μm)	Média dos valores Rz (μm)
1	1,87	11,85
2	1,16	7,77
3	0,69	5,16
4	1,88	11
5	1,04	7,22
6	0,74	5,19
7	2,4	12,54
8	0,81	6,5
9	0,81	4,95
10	1,9	8,62
11	0,83	6,01
12	0,8	5,69
13	1,52	10,07
14	0,83	6,98
15	1,11	8,47
16	1,89	11,41
17	0,94	6,88
18	1,16	6,86

O pior acabamento superficial apresentado no sentido de corte centro/periferia pode ser apontado pela vibração causado durante a usinagem, sendo o motivo desta vibração a maior área de contato entre a peça e a ferramenta, as baixas taxas de avanço e ao sistema de fixação da peça. Algo que não foi avaliado neste trabalho, porém apresentou grande relevância, foi a temperatura final após os ensaios. Para o sentido de corte centro/periferia, a temperatura da peça foi muito elevada, o que pode levar às alterações da microestrutura da peça e a possíveis erros geométricos com a planicidade.

Desgaste da ferramenta

Apesar de que os ensaios foram curtos em relação ao tempo de corte, as ferramentas apresentaram certo desgaste na superfície de folga e no gume de corte. Esses desgastes variaram conforme o sentido de corte, sendo que o sentido de corte centro/periferia apresentou além do desgaste de flanco algumas trincas entre o gume de corte e a superfície de folga, como é mostrado na figura 4. Essas trincas podem ter sido causadas pela variação de temperatura durante a usinagem ou pela classe do material da ferramenta ser muito frágil para a usinagem desse tipo de ferro fundido.

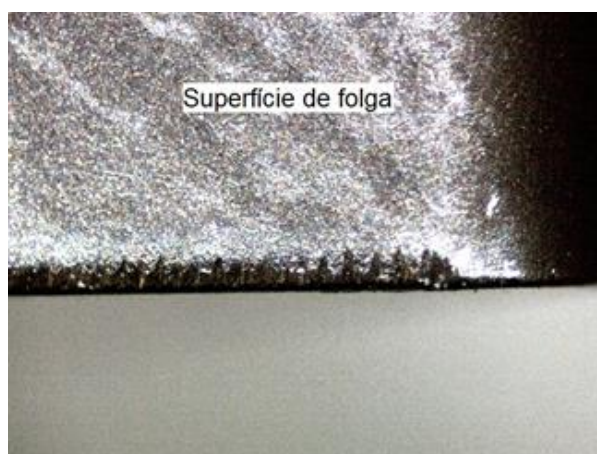


Figura 4. Trincas no gume de corte

Conforme proposto por Pereira (2012), na usinagem de ferro fundido cinzento há um acréscimo na vida útil da ferramenta conforme for aumentando a velocidade de corte, isso pode ser visto na figura 5 que mostram um menor desgaste tanto de flanco quanto do gume da ferramenta quando for comparada somente a variação da velocidade de corte, mesmo que esse desgaste foi relativamente pequeno.

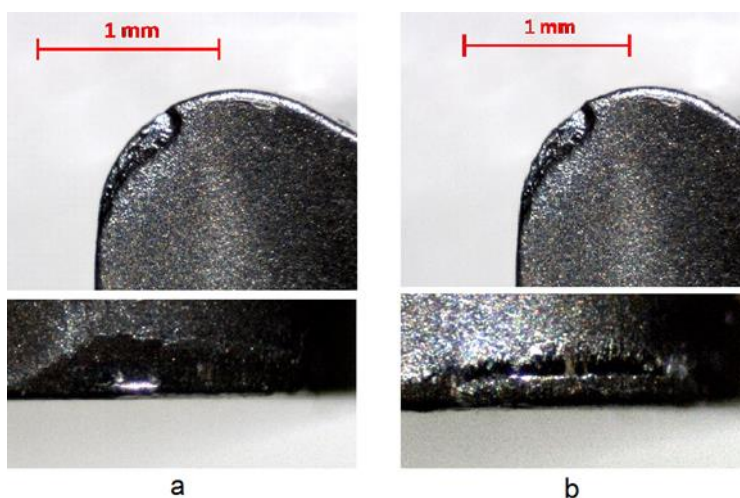


Figura 5. Desgaste de flanco e do gume de corte. (a) $V_c = 150\text{m/min}$ e $f = 0,05\text{mm/rot.}$
(b) $V_c = 600\text{m/min}$ e $f = 0,05\text{mm/rot.}$

Apesar de existir certa diferença no desgaste das ferramentas, essa não pôde ser analisada com mais precisão pois seria necessário um microscópio eletrônico de varredura e um cromatógrafo, para que as conclusões sobre o mecanismo de desgaste fossem mais exatas.

Análise dos resultados

Para a análise dos resultados de rugosidade foi imprescindível o uso de métodos estatísticos para a melhor avaliação destes resultados, sendo que neste trabalho utilizou-se a regressão múltipla a fim de obter-se uma equação na qual a variável de resposta fosse a rugosidade em Ra, tendo como variáveis independentes o avanço e a velocidade de corte. Também foi utilizada uma análise de variância para verificar-se a influência dos parâmetros na rugosidade final, sendo aceito como influente somente as variáveis com coeficientes significativos, ou seja, variáveis com nível de significância menor que 0,05. Na tabela 4 os níveis de significância são mostrados na coluna P-value.

Tabela 4. Níveis de significância das variáveis e suas interações

Source	P-Value
Model	
Linear	
VelocCorte	0
Avanco	0
Sentido	0,118
2-Way Interactions	
VelocCorte*Avanco	0
VelocCorte*Sentido	0,697
Avanco*Sentido	0
3-Way Interactions	
VelocCorte*Avanco*Sentido	0

O sentido de corte não teve influência no resultado final, a interação da Velocidade de Corte com o sentido de corte também não apresentou significância para a variável resposta, ou seja, quando essas duas variáveis são alteradas juntas não alteram o valor do resultado.

A regressão múltipla indicou as equações para a obtenção de rugosidades Ra dentro das variáveis utilizadas neste estudo, sendo elas apresentadas na Equação 1 para o sentido periferia/centro e a Equação 2 para o sentido centro/periferia. Abaixo de cada equação encontra-se o coeficiente de correlação entre os resultados práticos e os resultados teóricos obtidos através das equações anteriormente citadas.

$$1,4519365 - 0,0013485 * \text{VelocidadeDeCorte} + 3,19047619 * \text{Avanço} = Y \quad (1)$$

$r = 0,818$

$$2,016 - 0,0026 * \text{VelocidadeDeCorte} + 2,193 * \text{Avanço} = Y \quad (2)$$

$r = 0,867$

CONCLUSÃO

Conforme os resultados apresentados anteriormente pôde-se concluir que maiores velocidades de corte geraram menores valores de rugosidades Ra além de um desgaste de flanco menor no sentido de corte Periferia/Centro. Quanto ao sentido de corte, somente os resultados de Rz se mostraram mais eficientes no sentido Centro/Periferia, também houve um aumento na temperatura da peça no final do ensaio, podendo essa causar algum risco ao operador, e maior vibração causada pela maior área de contato da ferramenta com a peça. Neste estudo não houve uma diferença significativa nos resultados em relação ao sentido de corte, apenas em alguns aspectos estudados.



XXIV CREEM
Congresso Nacional de Estudantes
de Engenharia Mecânica



**Universidade Federal
do Rio Grande**



INSTITUTO FEDERAL
RIO GRANDE DO SUL
Campus Rio Grande

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Santa Catarina pela oportunidade da realização deste trabalho .

REFERÊNCIAS

- Abele, E.; Sahm, A.; Schulz, H.. Wear Mechanism when Machining Compacted Graphite Iron. *Cirp Annals - Manufacturing Technology*, [s.l.], v. 51, n. 1, p.53-56, 2002. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0007-8506\(07\)61464-4](http://dx.doi.org/10.1016/s0007-8506(07)61464-4).
- Guesser, Wilson L. et al., “Ferros Fundidos Empregados para Discos e Tambores de Freio”, in *Brake Colloquium*, SAE, 2003, Brasil - Gramado, 2003.
- Ferraresi, Dino. *Fundamentos da Usinagem dos Metais*. São Carlos: Blucher, 1970. 751 p.
- Machado, Álisson Rocha et al. *Teoria da usinagem dos materiais*. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2009. 408 p.
- Pereira, F. S. Torneamento em Altas Velocidades de Corte do Ferro Fundido Cinzento FC250 com Ferramentas à Base de Nitreto de Silício. In: *CONEM – CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA*, 7. 2012, São Luís – MA. 2012.
- Souto, U. B. Torneamento de Discos de Freio: Avaliação da Topografia da Superfície e do Fenômeno Open Grain. 2002. 7pg.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso contido neste artigo.