

VARIAÇÃO DE RUGOSIDADE NO TORNEAMENTO DE FACE DO FERRO FUNDIDO CINZENTO

Álvaro Assis¹

Edson Roberto da Silva²

RESUMO

Este estudo realizou um processo de usinagem por torneamento de face em peças de ferro fundido cinzento, com diferentes rotações e avanços visando verificar suas influências no acabamento superficial. Para tanto foi utilizado um torno mecânico convencional e um rugosímetro para efetuar os ensaios nos corpos de prova. Foram usados oito corpos de prova contendo duas réplicas em cada combinação, as rotações foram de 90 RPM e 140 RPM, combinados aos avanços de 0,085 mm/rot e 0,18 mm/rot. Uma análise estatística foi realizada para averiguar suas influências neste tipo de processo, que resultou a não influência dessas rotações e avanços nas rugosidades superficiais.

Palavras-chave: Faceamento em ferro fundido. Rugosímetro. Usinagem de material. Acabamento superficial.

¹ Graduando de Engenharia Mecânica pela Universidade de Rio Verde, Faculdade de Engenharia Mecânica.

² Orientador, Professor Mestre da Faculdade de Engenharia Mecânica.

1 INTRODUÇÃO

Os processos de fabricação possuem um vasto leque de informações e este artigo mostra vários tópicos em relação à variação de rugosidade no torneamento de face em uma peça de ferro fundido cinzento. Foram relatados os elementos que compõem o ferro fundido, porcentagens de cada composição, características que o identificam, influência da temperatura em sua estrutura e os tipos de ferros fundidos existentes.

O ferro fundido cinzento possui geralmente uma boa usinabilidade, sendo o mais comum nos processos de fabricação, se comparado aos demais, por esse motivo houve a decisão de usá-lo como corpo de prova. Assim analisou-se em variadas combinações de torneamento de face, a quais resultados chegaria.

O torneamento de face é normalmente o primeiro passo em operações com intenção a deixar a peça plana. No seu procedimento a ferramenta parte de um ponto específico da peça, podendo ter partida da região interna para a periferia e vice-versa, em uma trajetória retilínea, perpendicular ao eixo de rotação da máquina. Através de cálculos, obtêm-se as rotações, os avanços, os ângulos de corte ideais para cada tipo de material e também o resultado esperado. Após esse processo a peça usinada resulta em um acabamento superficial; a fim de que se saiba qual resultado foi obtido, é necessário fazer uma análise de rugosidade superficial com um aparelho chamado rugosímetro.

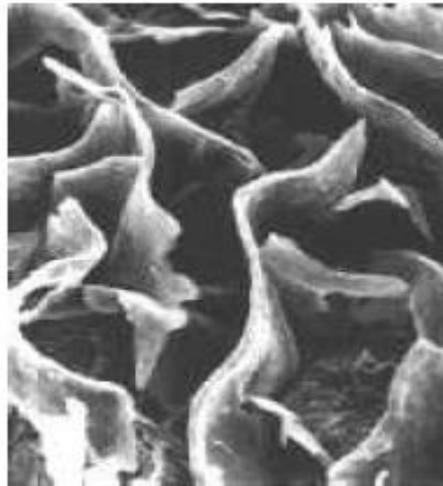
A análise da rugosidade superficial possui um grande emprego em processos de fabricação, ela oferece resultados relevantes, aumentando os níveis da qualidade de produção, fazendo com que a indústria melhore sempre os acabamentos superficiais de seus produtos.

Este estudo tem por objetivo verificar a possível variação na rugosidade em peças usinadas por torneamento de face variando a rotação e o avanço. Para a realização dos ensaios foram utilizadas oito peças em ferro fundido cinzento, faceadas com duas diferentes rotações e dois diferentes avanços, tendo como finalidade verificar a influência dos parâmetros de usinagem na rugosidade superficial das peças e verificar também se ao longo da face houve variação na rugosidade devido à variação da velocidade de corte com a mudança constante de diâmetro para esse tipo de usinagem.

1.1 FERRO FUNDIDO

O Ferro Fundido é uma liga composta por ferro, carbono e silício, que tem normalmente, pelo menos, 2% de carbono, em teor superior aquele que pode ser retido em solução na austenítica, resultando carbono parcialmente livre, na forma de veios ou lamelas de grafita, conforme pode ser visto na Figura 1 (PEREIRA, 2005).

FIGURA 1 – Distribuição dos veios de grafita no ferro fundido cinzento



Fonte: SAHM (2002) citado por PEREIRA (2005).

Pontos de destaque na influência da estrutura do material (Ferro Fundido), são: composição química, capacidade de resfriamento, superaquecimento e inoculação. Existe um fator extremamente importante a ser colocado em pauta, tratando-se do ponto de vista estrutural, o ferro fundido possui em sua microestrutura a grafita, para que sua resistência mecânica ofereça resultados positivos deve conter menor quantidade possível de grafita, quando se tem o inverso, causa assim lacunas, ranhuras, e vácuos indesejados no material (PEIXOTO, 2015).

O ferro fundido é classificado de várias formas, algumas delas são: ferros fundidos brancos, cinzentos, nodulares, maleáveis e mesclados. Cada um desses tipos possui características diferentes, quanto à estrutura da matriz metálica (podendo ser austenítica, martensítica, ferrítica, perlítica e ferrítica-perlítica), originando classes e propriedades do material distintas (CALLISTER, 2000).

1.2 USINABILIDADE DO FERRO FUNDIDO CINZENTO

Em um processo de fabricação, em geral, exige-se um conhecimento significativo na usinabilidade do material, elevando-se assim o nível de produção. Por esse motivo, vários profissionais buscam desenvolver ensaios nos materiais, visando entender quais as reações e comportamentos resultantes na usinabilidade (MILLS; REDFORD, 1983).

Os critérios de medição para a rugosidade acabam sendo bastante detalhados, devido a essas mínimas alterações que ocorrem nesse processo (KÖNIG, 1997). No caso do trabalho apresentado, foi realizado um torneamento de face em um material de ferro fundido cinzento, com uma composição química variando entre 93% a 93,8% de ferro, 1% a 3% de silício e 2,5% a 4% de carbono.

As propriedades citadas anteriormente tornam o ferro fundido, um material com altos níveis de aplicação na indústria metal-mecânica. Com base na ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), é estabelecida a representação do ferro fundido cinzento por FC, essas iniciais possuem um complemento formado por dois algarismos, significando o limite mínimo de resistência à tração (CHEREMIISINOFF, 1996).

A usinabilidade do ferro fundido cinzento normalmente possui uma resposta favorável, isso se dá por existir em sua microestrutura, carbono livre ou grafita no formato de lamelas. A grafita em forma de lamelas contém reações lubrificantes, a grande vantagem disso é a facilidade para se formar o cavaco. Porém, essa usinabilidade possui respostas relativas, podendo ter uma variação em cada lote da fundição. A variação geralmente se mede através das distinções na durabilidade da ferramenta, potência requerida, quantidade na remoção de material e acabamento superficial. É extremamente importante a cautela no processo de fundição, devido às alterações na microestrutura do material resultantes das distinções de usinabilidade, a fim de eliminar chances de obtenção de carbonetos (AFS, 2003).

1.3 TORNEAMENTO DE FACE

O torneamento de face é uma operação de usinagem, que consiste em desbastar um material, na qual é apresentada uma superfície (face). O faceamento é realizado em vários procedimentos da usinagem, devido a sua grande importância nos processos de fabricação, para aperfeiçoar a sua qualidade processual, ferramental e linhas de cortes. A vibração nesse

tipo de processo é bastante presente exigindo, assim, uma ampla análise, pois interfere diretamente no acabamento superficial da peça usinada, sendo necessária a procura de soluções cabíveis no processo industrial (ALTINTAS, 2000 citado por DE LIMA, 2012).

1.4 RUGOSIDADE SUPERFICIAL

Entre 1920 e 1930 deram início aos estudos de medidas superficiais, a partir da década de 30 desenvolveram os primeiros aparelhos para medidas de superfície (SHAFFER, 1998; STOUT, 1997 citado por BET, 1999).

A definição de rugosidade está na junção de desvios microgeométricos, tendo como característica, alterações mínimas, porém relevantes, contendo pequenos ressaltos e protuberâncias em uma superfície (ABNT, 2002).

O nome Rugosímetro, apesar de ser um nome genérico e bastante antigo, é usado até hoje, não só para operadores e profissionais da área, mas também pelos próprios fabricantes. Os primeiros tipos de materiais sujeitos à análise de superfície, através dos equipamentos de medição, foram os metais. Devido ao processo evolutivo da tecnologia, também das exigências e tendências de mercado, visando melhores produtos com baixo custo, foi necessário aumentar o leque de análises superficiais, usando outros materiais como corpo de prova, além dos metais (TELECURSO, 1997).

Muito utilizado na indústria, o rugosímetro é um equipamento eletrônico capaz de captar altas variações de rugosidade na superfície de ferramentas e peças. Seu padrão de qualidade, tratando-se das medições possui uma eficácia bastante satisfatória, tendo sua presença indispensável em processos de fabricação e manutenção metalúrgicas (TELECURSO, 1997).

A classificação dos tipos de rugosímetros está basicamente definida em dois grandes grupos (TELECURSO, 1997):

- Equipamentos que transmitem a leitura dos fatores de rugosidade, podendo ser digital e analógico;
- Equipamentos que concedem, além da leitura, a transcrição em papel da forma real da superfície.

Dentre os dois citados, os mais utilizados em processos de produção são os do primeiro tipo, já o segundo, destaca sua utilização em laboratórios, devido seu grau de

apresentação de resultados, no qual é presente um gráfico, resultando uma análise mais crítica e minuciosa em relação à textura da superfície do corpo de prova (TELECURSO, 1997).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS

Para a realização desse trabalho foram utilizados como corpos de prova oito placas de embreagem em ferro fundido cinzento, encontrados em automóveis da marca FIAT, com espessura de 16 mm, diâmetro externo de 182 mm, diâmetro interno de 118 mm.

Para usinagem dos corpos de prova foi utilizado um torno mecânico convencional da marca CLEVER, modelo L-1640 de uma empresa de usinagem da cidade de Rio Verde – GO. A pastilha utilizada para o torneamento de face foi um inserto DNMU TP2500 08/2 M3 da marca Seco.

Para a análise da rugosidade superficial dos corpos de prova, foi utilizado um rugosímetro da marca Mitotoyo, modelo SJ-201, do laboratório de metrologia da unidade integrada SESI/SENAI de Rio Verde – GO.

2.2 MÉTODOS

No processo inicial os corpos de prova foram submetidos a um jateamento de areia com a finalidade de limpar a grande concentração de sujeiras e oxidação e então as peças foram pintadas para não serem atacadas novamente por óxido. A superfície das peças apresentava algumas irregularidades e com o objetivo de minimizar esse efeito sobre os ensaios, as peças foram pré-usinadas para retirar tais avarias.

Os testes de usinagem foram feitos com duas diferentes rotações, 90 RPM e 140 RPM, e com dois avanços, 0,085 mm/rot. e 0,18 mm/rot. As peças foram faceadas do centro para a periferia com profundidade de usinagem constante de 0,6 mm. São 4 possíveis combinações de parâmetros de usinagem, para cada combinação foram usinadas duas réplicas num total de 8 ensaios.

A ordem dos testes foi feita de maneira aleatória para minimizar eventuais influências externas e tendências de erros, visto que a apresentação dos resultados foi feita por meio de uma análise de variância (ANOVA).

Os ensaios de rugosidade foram realizados de maneira a levar em consideração toda extensão da parte usinada; para tanto as peças foram marcadas antes de o ensaio iniciar, como pode ser observado na Figura 2.

FIGURA 2 – Corpo de prova usinado, apresentando a rugosidade superficial.



Fonte: ASSIS, 2017.

Observando a Figura 2, conclui-se que a rugosidade foi medida na parte externa, central e interna da face usinada, e foram feitas 3 medidas de cada, distantes 120°. A

disposição e a quantidade de leituras de rugosidade tiveram como objetivo avaliar a influência da variação da velocidade de corte no acabamento superficial ao longo da peça usinada.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos nos ensaios de rugosidade estão apresentados na Tabela 1.

TABELA 1 – Resultado completo de todas as rugosidades superficiais em micrometros

Rotação [rpm]		Avanço [mm/rot]			
		0,085		0,18	
90	Externo	2,64	3,22	1,71	1,84
	Central	1,87	2,77	1,15	1,91
	Interno	1,67	2,28	1,11	2,18
140	Externo	1,62	3,61	3,59	3,16
	Central	1,29	3,44	2,03	2,91
	Interno	0,97	3,38	2,17	3,25

Fonte: ASSIS, 2017.

Observando os resultados obtidos em cada combinação de parâmetros, a rotação de 140 RPM e avanço de 0.085 mm/rot obteve divergência de valores de rugosidade entre as duas réplicas; esta combinação apresentou a maior e a menor rugosidade, possivelmente essa discrepância é devido a prováveis mudanças físicas e mecânicas causadas ao longo da vida útil dos corpos de prova, pois se tratam de peças usadas. Desconsiderando a segunda réplica desta combinação é possível chegar as seguintes análises:

- a combinação entre a rotação de 140 RPM e avanço de 0,18 mm/rot, obteve os maiores valores de rugosidade, conseqüentemente os piores acabamentos, o que pode explicar esse fato é um possível aumento na vibração em decorrência da elevação da velocidade de corte e do avanço;
- a combinação com rotação de 140 RPM e avanço de 0,085 mm/rot, obteve os valores de rugosidade menores, pois a alta rotação combinada com baixo avanço tende a resultar uma melhor qualidade no acabamento superficial, conseqüentemente uma baixa rugosidade superficial.

Pode ser observado, também na Tabela 1, que há uma tendência da rugosidade ser menor na parte interna e conseqüentemente apresentar melhor acabamento superficial e à

medida que se afasta do centro da peça a rugosidade aumenta gradativamente. Esse fenômeno pode ser explicado devido à variação da velocidade de corte ao longo do faceamento uma vez que seu aumento pode estar relacionado com a elevação da vibração prejudicando o acabamento à medida que o diâmetro aumenta. Outro fator que pode estar associado com a piora no acabamento nas partes mais próximas a periferia da peça é o fato de a peça ter sido fixada pela parte interna, ou seja, quanto mais longe da fixação maior a tendência a vibrações.

Para a verificação da influência da rotação e do avanço sobre a rugosidade foi feita uma análise de variância, com dois fatores, sendo o fator A como rotação e o fator B como avanço. Cada fator apresenta dois níveis e foram feitas duas réplicas para cada combinação de fatores possibilitando a ANOVA. Para viabilizar a análise estatística foi feita uma média das rugosidades para cada combinação de fatores e seus resultados podem ser observados na Tabela 2.

TABELA 2 – Resultado médio das combinações em micrometros

Rotação [RPM]	Avanço [mm/rot]		
	0,085	0,18	Soma
90 rpm	2,06	1,32	8,22
	2,86	1,98	
140 rpm	1,29	2,6	10,48
	3,48	3,11	
Soma	9,69	9,01	18,7

Fonte: ASSIS, 2017.

Para a realização da análise estatística, cada variável em estudo foi dividida em fatores, neste trabalho foram estudados dois parâmetros, a rotação (n), chamada de fator A, e o avanço (f), chamado de fator B.

De posse dessas informações, levantaram-se as seguintes hipóteses:

- H_{0A} : a rotação (n) não influencia na rugosidade superficial;
- H_{1A} : a rotação (n) influencia na rugosidade superficial;
- H_{0B} : o avanço (f) não influencia na rugosidade superficial;
- H_{1B} : o avanço (f) influencia na rugosidade superficial;
- H_{0AB} : a interação entre a rotação (n) e o avanço (f) não influencia na rugosidade superficial;

- H_{1AB} : a interação entre a rotação (n) e o avanço (f) influencia na rugosidade superficial.

Para a verificação da influência dos fatores sobre a rugosidade superficial das peças, foi feita uma análise de variância, e os resultados podem ser observado na Tabela 3.

TABELA 3 – Resultado completo dos fatores de influências

Variável	SQ	GL	MQ	F0 cal	F0 tab	α	Resultado
A	0,63845	1	0,63845	0,832969	7,71	5%	Não influencia
B	0,0578	1	0,0578	0,07541	7,71	5%	Não influencia
AB	0,8192	1	0,8192	1,068789	7,71	5%	Não influencia
E	3,0659	4	0,766475				
Total	4,58135	7					

Fonte: ASSIS, 2017.

Comparando os resultados entre F_{0cal} e F_{0tab} apresentados na Tabela 3, pode ser observado que para todos os casos o valor de F_{0calc} é menor que o valor de F_{0tab} ; então para um nível de significância $\alpha = 5\%$, não se rejeita a hipótese H_0 e conclui-se que a rotação (n) o avanço (f) e efeito combinado entre a rotação e o avanço não influenciaram no resultado do acabamento. A não influência dos fatores provavelmente está associada a condições externas ao ensaio, como por exemplo, a rigidez do sistema MPF (Máquina, Peça, Ferramenta) e sistema de fixação da peça, não permitindo a percepção evidente da influência dos parâmetros testados.

4 CONCLUSÃO

Respondendo aos objetivos propostos pelo trabalho é possível apresentar as seguintes conclusões:

- houve uma tendência de um melhor acabamento com a velocidade de corte mais alta, ou seja, na parte interna das faces usinadas;
- de uma maneira geral a rotação de 90 RPM e o avanço de 0,18 mm/rot apresentaram melhor acabamento;

- o provável fenômeno mais influente na variação das rugosidades foi o estado metalúrgico das peças e a rigidez do sistema MPF (máquina peça ferramenta);
- de acordo com análise de variância nenhum dos fatores estudados influenciaram na rugosidade superficial das peças usinadas.

*VARIATION OF RUGOSITY IN FACE TURNING OF GRAY CAST IRON***ABSTRACT**

This study carried out a process of machining by face turning in gray cast iron parts, with different rotations and advances in order to verify their influence on the surface finish. For this a conventional lathe and a rugosimeter were used to carry out the tests on the specimens. Eight specimens containing two replicates were used in each combination, the rotations were 90RPM and 140RPM, combined with the advances of 0.085 mm / rot and 0.18 mm / rot. A statistical analysis was performed to ascertain its influence in this type of process, which resulted in the non-influence of these rotations and advances in surface roughness.

Keywords: Cast iron face. Roughness meter. Machining of material. Surface finish

REFERÊNCIAS

- AFS. *Iron castings engineering handbook*. American Foundry Society, 2003, 420p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR ISO 4287*, Especificações geométricas do produto (GPS) – Rugosidade: método do perfil – Termos, definições e parâmetros de rugosidade. ABNT, 2002.
- BET, L. *Estudo da medição da textura de superfícies com sondas mecânicas e com sondas óticas tipo seguidor*. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. 1999.
- CALLISTER, W. D. Jr. *Ciência e Engenharia de Materiais: Uma introdução*, 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.
- CHEREMIISINOFF, N. *Materials selection deskbook*. Westwood: Noyes publications, 1996. 191 p.
- DE LIMA, D. O; DE ARAUJO, A. C. M.; DA SILVEIRA, J. L. J. *Influência da profundidade de corte e do avanço na força de corte no fresamento de faceamento*. 2012.
- KÖNIG, W., KLOCKE, F. *Fertigungsverfahren: drehen, fräsen, bohren*. 5 ed. Berlin: Springer, 1997, 471 p.
- MILLS, B.; REDFORD, A. *Manufacturing of Engineering Materials. Applied Science, London*, p. 20, 1983.
- PEIXOTO, F. de M. et al. *Desenvolvimento de um Software para cálculo da densidade de nódulos de grafita em ferro fundido nodular através de Processamento Digital de Imagens*, ISSN 1517-7076 artigo 11594, pp.264-276, 2015.
- PEREIRA, A. A. et al. *Influência do teor de enxofre na microestrutura, nas propriedades mecânicas e na usinabilidade do ferro fundido cinzento FC 25*. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. 2005.
- TELECURSO 2000 PROFISSIONALIZANTE. *Mecânica Processos de Fabricação*. São Paulo. 1997. 159p.