

# INFLUÊNCIA DO ENXOFRE NA USINABILIDADE DO FERRO FUNDIDO CINZENTO FC 25

## **Adriana Ana Pereira**

GRUCON - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Universitário – Trindade, Florianópolis/SC, Brasil, Caixa Postal 476 – EMC – 88010-970. [adriana@grucon.ufsc.br](mailto:adriana@grucon.ufsc.br), [adrianap@emc.ufsc.br](mailto:adrianap@emc.ufsc.br).

## **Lourival Boehs**

GRUCON - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Universitário – Trindade, Florianópolis/SC, Brasil, Caixa Postal 476 – EMC – 88010-970. [lb@grucon.ufsc.br](mailto:lb@grucon.ufsc.br), [boehs@emc.ufsc.br](mailto:boehs@emc.ufsc.br).

## **Wilson Luiz Guesser**

Tupy Fundições Ltda. Engenharia Metalúrgica, R. Albano Schmidt, 3400, 89206-900, Joinville/SC. Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville/SC. [wguesser@tupy.com.br](mailto:wguesser@tupy.com.br).

**Resumo.** *O presente trabalho trata da influência do enxofre na usinabilidade do ferro fundido cinzento FC 25. Os corpos de prova para esta pesquisa foram produzidos em condições de fabricação comercial pela empresa Tupy Fundições com teores de enxofre variando de 0,065% a 0,18%. Os efeitos da variação do teor de enxofre na usinabilidade do ferro fundido cinzento FC 25 foram estudadas no torneamento externo longitudinal nas velocidades de 100, 150 e 200 m/min, com ferramenta de metal duro sem cobertura, utilizando como critério de avaliação o desgaste de flanco. O aumento na porcentagem do enxofre no ferro fundido cinzento FC 25 de 0,065% para 0,18%, não produziu alterações significativas nas propriedades mecânicas e na microestrutura do material. Constatou-se que para uma efetiva redução do desgaste por adesão, durante a usinagem, a menor porcentagem de área ocupada por sulfeto de manganês deve ser de  $(18 \pm 6) \times 10^{-3}$ . A usinabilidade do ferro fundido cinzento com 0,12%, 0,15% e 0,18% de enxofre não difere significativamente quando usinado a 150 e 200 m/min. Em relação ao ferro fundido cinzento com 0,12% de enxofre, o material com 0,065% S apresentou uma redução na vida da ferramenta de 24%, 32% e 38%, para as velocidades de 100, 150 e 200 m/min, respectivamente. Desta pesquisa, importantes resultados foram obtidos, viabilizando o uso de uma maior percentual do enxofre na produção do ferro fundido cinzento F 25 sem o detrimento da usinabilidade, das propriedades mecânicas e da microestrutura.*

**Palavras-chave:** *ferro fundido cinzento, usinabilidade, enxofre, sulfeto de manganês.*

## 1. INTRODUÇÃO

Gastam-se anualmente nos EUA mais de US\$ 100 bilhões para remoção de material metálico, sendo 75% atribuído a somente quatro processos convencionais de usinagem: torneamento, fresamento, furação e retificação (Coelho et al. 2001). Desta forma, melhorar a usinabilidade do material é de grande interesse, visto que quanto melhor a usinabilidade maior é a produtividade e menor o custo para se produzir uma peça de acordo com o especificado.

A usinabilidade pode ser melhorada através das condições de usinagem ( $a_p, f, v_c$ , fluido de corte, geometria e material da ferramenta) ou através do material da peça. A melhoria por sua vez terá caráter de fabricação ou econômico. A melhoria na fabricação é verificada pela maior possibilidade de se produzir a peça de acordo com o especificado, pela facilidade de remoção do cavaco, pelo melhor desempenho no mecanismo de formação do cavaco, etc. A melhoria econômica é constatada pelo menor desgaste da ferramenta, pela menor força de corte (pelo menor consumo de energia) durante o processo, do que resulta menor tempo passivo e menor custo da ferramenta por peça usinada.

Um método extensamente utilizado para melhorar a usinabilidade do material, sem alterar as propriedades mecânicas e a microestrutura, é através da adição de determinadas inclusões no material, denominadas inclusões de engenharia, que favorecem a redução dos esforços de corte e do desgaste da ferramenta.

A primeira referência sobre os benefícios das inclusões de engenharia na usinabilidade deve-se a Opitz (1963) que descobriu a formação de uma *built-up layer* sobre a face da ferramenta de metal duro durante a usinagem de um aço desoxidado com cálcio. Desde então, a prática do uso das inclusões de engenharia vem sendo largamente aplicada e estudada.

Entre as inclusões favoráveis a usinabilidade encontra-se o sulfeto de manganês. Em condições favoráveis, estas inclusões formam sobre as superfícies da ferramenta de corte uma película protetora também conhecida como *built-up layer* (BUL), responsável pela redução do desgaste da ferramenta e pela redução na força de corte (Brion et al 1992; Fang; Zhang, 1996; JOSEPH; Tipnis, 1975; Poulachon et al 2002).

Diferentemente dos aços, onde as inclusões de MnS são obtidas propositadamente para melhorar a usinabilidade do material, no ferro fundido cinzento estas inclusões aparecem como resultado do processo de fabricação em fornos cubilô. Para que o enxofre presente no coque e na sucata não combine com o ferro formando inclusões de sulfeto de ferro com baixo ponto de fusão, manganês é adicionado para formar inclusões mais estáveis, os sulfetos de manganês.

A obtenção das inclusões de sulfeto de manganês gera resultados animadores em termos de custo e produtividade, motivando o constante estudo e interesse em relação à presença das inclusões na usinabilidade. Na usinagem do ferro fundido cinzento, a presença das inclusões de MnS pode reduzir o coeficiente de atrito na interface cavaco-ferramenta em até cinco vezes, e conseqüentemente, aumentar a vida da ferramenta de corte (Sahm et al 2002).

Com o fim de proporcionar o melhor entendimento sobre a influência do enxofre no processo de usinagem do ferro fundido cinzento, é apresentado a seguir o fluxograma mostrado na Fig. (1), conferindo principal destaque à influência da inclusão de sulfeto de manganês, na usinabilidade do referido material, em razão dos seus benefícios econômicos.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA PARA O TRABALHO

**Morfologia e distribuição das inclusões de sulfeto de manganês:** No ferro fundido cinzento, a alteração na morfologia da inclusão de MnS, em função do aumento no teor de enxofre, é acompanhada pelo aumento no tamanho da inclusão, o que explica o melhor resultado obtido por Erickson (1976) nos ensaios de torneamento com inclusões de MnS do tipo III (0,12% S) do que com inclusões de MnS do tipo I (0,02% S). Nos aços, entretanto, os melhores resultados de usinabilidade são obtidos quando as inclusões do tipo I, estão presentes no material (Crafts; Hilty, 1953; Leskovar; Grum, 1979; Paliwoda, 1964; Ramalingam et al.1975; Tasaka et al. 1975; Van Vlack, 1953; Yeo, 1967), isto porque as inclusões do tipo III, são acompanhadas pelas inclusões abrasivas (Ramalingam et al.1975).

**Volume das inclusões de sulfeto de manganês:** As inclusões de MnS sendo mais dúcteis que a matriz são mais deformadas na região primária e secundária de cisalhamento. Esta diferente deformabilidade favorece a iniciação de micro-trincas entre as inclusões e a matriz que

conseqüentemente conduzem a fratura do cavaco (Fang; Zhang, 1996; apud Poulachon et al. 2002). Assim, à medida que a fração de volume de MnS é aumentada na matriz, a ruptura do cavaco é melhorada (1974 apud Joseph; Tipnis, 1975).

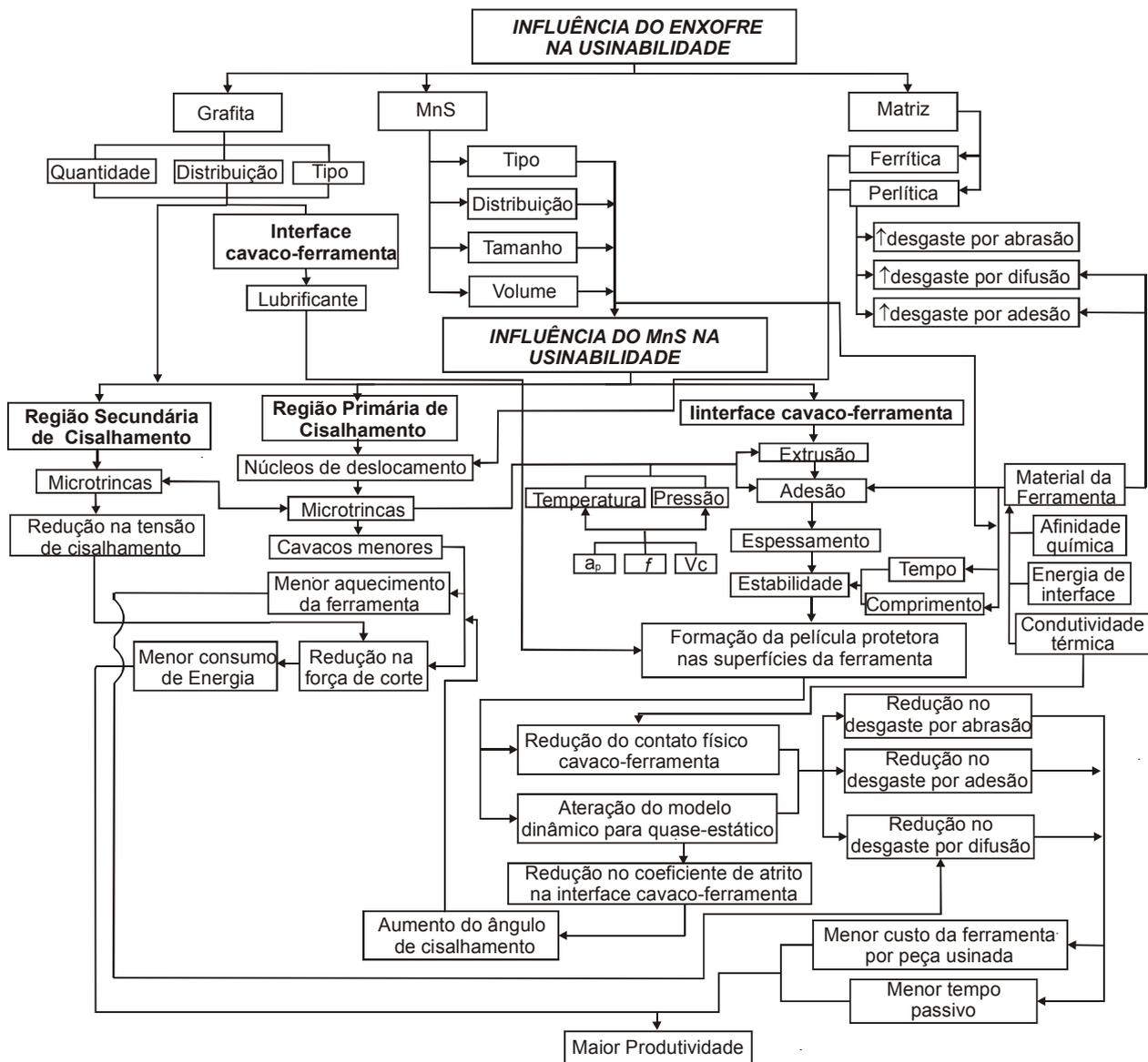


Figura 1 - Fluxograma da influência do enxofre na usinabilidade do ferro fundido cinzento.

**Influência das inclusões de MnS na interface cavaco-ferramenta:** Promove a formação de uma película protetora, quimicamente estável (Poulachon et al 2002), nas superfícies da ferramenta conhecida como *built-up layer* (BUL), tipicamente observada no torneamento (Fang; Zhang, 1996; Qi; Mills, 1996; Sahn et al 2002), protegendo a ferramenta dos desgastes por adesão, difusão e abrasão (Fang; Zhang, 1996) em razão da alteração do modelo dinâmico para quase-estático na interface cavaco-ferramenta (Poulachon et al 2002). A BUL também favorece a redução do coeficiente de atrito na interface cavaco-ferramenta (Ramalingam et al.1975; Sahn et al. 2002) contribuindo para redução da força de corte através do aumento no ângulo de cisalhamento (Araki; Yamamoto, 1975).

**Influência das inclusões de MnS na região secundária de cisalhamento:** Na região secundária de cisalhamento, as inclusões de MnS atuam no interior do material reduzindo a tensão de cisalhamento (Araki; Yamamoto, 1975) através da condução de micro-trincas (Poulachon et al 2002), conseqüentemente, reduzindo a força de corte. No entanto, as inclusões de MnS não devem

favorecer o cisalhamento do cavaco através do fluxo plástico do metal (apud Joseph; Tipnis, 1975). Para que a inclusão de MnS possa atuar favoravelmente na zona de fluxo a sua característica plástica deve ser adequada, isto é, não muito fluida. Assim, a temperatura deve ser apropriada, para favorecer o papel na inclusão de MnS não só na região secundária mas também na região primária de cisalhamento (Araki; Yamamoto, 1975).

**Influência das inclusões de MnS na região primária de cisalhamento:** A interação entre as inclusões de MnS e a matriz na região primária de cisalhamento gera, pela presença de um campo de tensão heterogêneo, uma intensa concentração de tensão em torno das inclusões de MnS induzindo a incoesão através da interface matriz-inclusão e originando micro-trincas na região primária de cisalhamento. Estas micro-trincas promovem a redução na força de corte e do consumo de energia (Araki; Yamamoto, 1975; Fang; Zhang, 1996; Mills et al. 1997). A iniciação de micro-trincas na região primária de cisalhamento como resultado da diferente deformabilidade entre as inclusões de MnS e a matriz, favorece a fragmentação do cavaco (Fang; Zhang, 1996; Joseph; Tipnis, 1975; 1995 apud Poulachon et al. 2002; Ramalingam et al.1975) e conseqüentemente a redução do comprimento de contato cavaco-ferramenta (apud Joseph; Tipnis, 1975) contribuindo para a diminuição da temperatura na ferramenta. No entanto, durante o processo de usinagem, deve-se manter uma temperatura apropriada, na qual a característica plástica da inclusão de MnS seja mantida (Araki; Yamamoto, 1975).

### 3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

#### 3.1 Metodologia, Equipamentos e Matéria-Prima Empregada na Fundição

A preparação da liga foi feita em um forno de indução de média frequência com duas toneladas de capacidade. Depois de fundida a carga, constituída por sucata de aço e ferro fundido de cubilô, foi adicionado grafita e FeMn para alcançar o ferro base com 3,4% C e 2,15% Si. Enxofre, na forma de sulfeto de ferro (FeS), foi adicionado na carga do forno para produzir quatro diferentes teores de enxofre.

Após ter sido processada a inoculação no jato com FeSi cálcio bearing, o metal líquido foi vazado em moldes para produção dos corpos de prova destinados aos ensaios de usinabilidade. As amostras metalográficas para caracterização e os corpos de prova para os ensaios mecânicos foram obtidos, no meio da parede dos cilindros.

#### 3.2. Metodologia, Equipamentos e Materiais Empregados nos Ensaios de Usinabilidade

Os ensaios de usinabilidade consistiram em comparar a usinabilidade do ferro fundido cinzento FC 25 com teores de enxofre de 0,065%, 0,12%, 0,15% e 0,18%, em três velocidades de corte. Os corpos de prova com 400 mm de comprimento e 120 mm de diâmetro externo, foram produzidos com espessura de 30 mm para assegurar homogeneidade microestrutural ao longo da seção transversal.

Os ensaios de usinabilidade desenvolvidos pelo processo de torneamento externo longitudinal num torno convencional com ferramentas SNMA 120408 de metal, classe KR3015, da empresa Sandvik, foram realizados nas velocidades de corte de 100, 150 e 200 m/min, mantendo fixos  $f = 0,257$  mm e  $a_p = 2$  mm. Os ensaios foram realizados com 2 replicas e os parâmetros de corte citados, foram selecionados de acordo com indicação do fabricante da ferramenta. Foi estabelecido como critério de fim de vida, levando em consideração a quantidade de matéria prima disponível e a evolução do desgaste da ferramenta de corte, um  $VB = 0,3$  mm.

#### 4. RESULTADO E DISCUSSÕES

Tabela 1 - Composição química (%)

S	Mn	P	Cu	Sn	Ti	C	Si	Cr	Nb	Mo
0,065	0,477	0,046	0,646	0,064	0,010	3,440	2,240	0,195	0,001	0,004
0,120	0,530	0,051	0,620	0,063	0,014	3,440	2,270	0,245	0,002	0,006
0,150	0,530	0,050	0,640	0,068	0,014	3,420	2,230	0,157	0,001	0,001
0,180	0,630	0,052	0,640	0,069	0,013	3,400	2,220	0,264	0,007	0,007

Nota: Valores referentes às moedas produzidas para análise química.

Tabela 2 – Dureza Brinell (HB)

0,065% S	0,12% S	0,15% S	0,18% S
211	187	180	193
193	199	184	201
180	215	207	199
195	197	180	213

Tabela 3 – Resistência à tração e número de células eutéticas/cm<sup>2</sup>

S (%)	Resistência (MPa)	Células eutéticas/cm <sup>2</sup>
0,065	247	92
0,12	240	85
0,15	230	84
0,18	240	93

Para um nível de significância de 5%, empregando a análise de variância (MONTGOMERY, 1997), tem-se que, ( $F_o = 1,12$ ) < ( $F_{cr} = 3,49$ ) e ( $F_o = 1,55$ ) < ( $F_{cr} = 6,59$ ), para a dureza e para o número de células eutéticas, respectivamente. Assim, conclui-se que os percentuais de enxofre estudados não alteram significativamente a dureza e o número de células eutéticas do ferro fundido cinzento FC 25.

##### 4.1 Caracterização da Microestrutura

Para os quatro teores de enxofre estudados, somente a grafita tipo A está presente na matriz, Fig. (2), indicando que os teores de enxofre analisados não alteram a morfologia da grafita no ferro fundido cinzento FC 25.

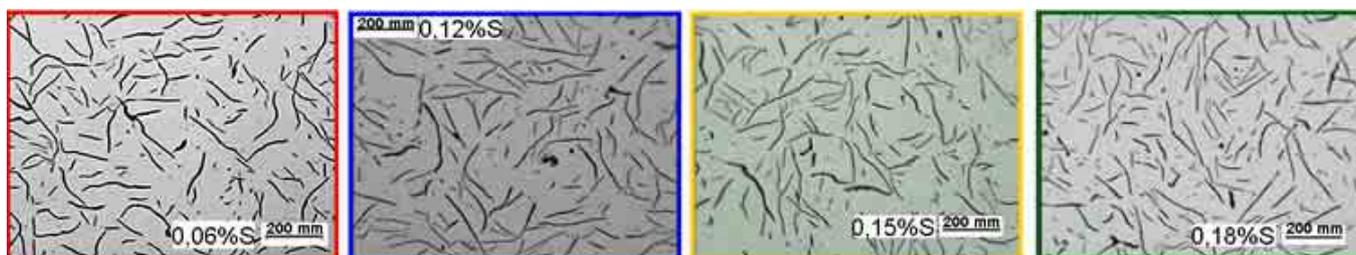


Figura 2 - Classificação da grafita segundo a norma ASTM A247.

Através das imagens apresentadas na Fig. (3) não é possível verificar alterações entre a matriz do ferro fundido cinzento FC 25 com 0,065%, 0,12%, 0,15% e 0,18% de enxofre. Assim, um aumento de 177% de enxofre, em relação ao material com 0,065%, não promoveu alteração na matriz formada por perlita fina.



Figura 3 - Perlita no ferro fundido cinzento FC 25 com 0,065%, 0,12%, 0,15% e 0,18% de enxofre.

Em relação à morfologia das inclusões de MnS, observar-se na Fig. (4) que estas inclusões, no ferro fundido cinzento FC 25 com 0,065% S, são predominantemente do tipo I. No material com 0,12% S encontram-se inclusões de MnS do tipo I e uma pequena quantidade do tipo III. Para o ferro fundido cinzento FC 25 com 0,15% S as inclusões de MnS do tipo I e III ocorrem de forma balanceada. O ferro fundido cinzento FC 25 com 0,18% S apresenta predominantemente inclusões de MnS do tipo III e uma pequena quantidade do tipo I.

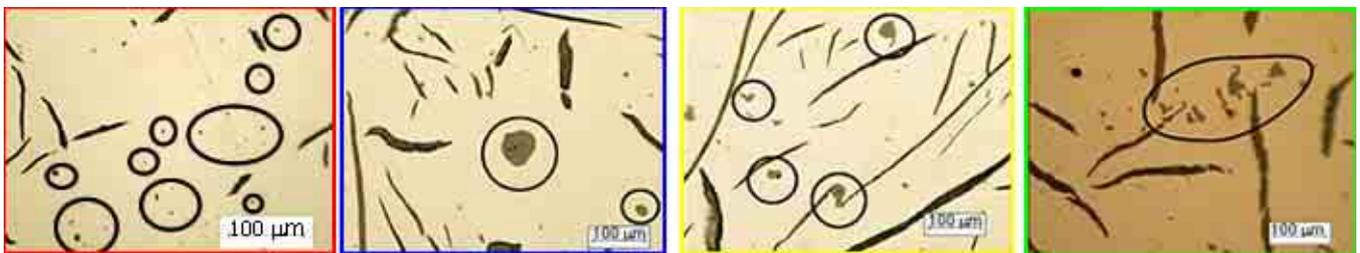


Figura 4 - Tipos de MnS no ferro fundido cinzento FC 25 com 0,065% S, 0,12% S, 0,15% S e 0,18% S.

A correlação da área da amostra ocupada por inclusões de MnS com o teor de enxofre presente no material é apresentada na Tab. (4). Cada valor é constituído pela área média obtida em três amostras ampliadas 400 vezes.

Definiu-se durante a análise que o menor comprimento da inclusão de MnS seria de 3 µm, reduzindo a possibilidade dos óxidos e dos carbonitretos serem incluídos durante a identificação dos MnS. O máximo tamanho foi ajustado de acordo com o maior tamanho da inclusão de MnS presente na imagem em análise, evitando que a grafita fosse considerada durante a avaliação. Quando o software incluía grafitas, óxidos e/ou carbonitretos com tamanhos compreendidos no intervalo estipulado, estas partículas eram identificadas visualmente na análise e removidas.

Para a análise estatística foi empregada delineação *Nested Design* apresentada por Montgomery (1997) para um nível de significância de 5%, apresentando  $F_0 (7,84) > F_{cr} (4,06)$ , assim a porcentagem da matriz ocupada por inclusões de MnS difere significativamente com respeito ao teor de enxofre.

Tabela 4 – Área da matriz ocupada pelas inclusões de MnS (%)

0,065% S			0,12% S			0,15% S			0,18% S		
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0,008	0,006	0,009	0,023	0,022	0,008	0,025	0,219	0,162	0,023	0,051	0,043
0,008	0,009	0,007	0,027	0,016	0,009	0,035	0,036	0,079	0,029	0,103	0,073
0,004	0,010	0,010	0,013	0,038	0,008	0,066	0,036	0,059	0,022	0,044	0,049

Lê-se: 0,008% da área da amostra 1, com 0,065% S, é ocupada por inclusões de MnS.

Após a análise e caracterização da microestrutura do ferro fundido cinzento FC 25 com 0,065%, 0,12%, 0,15% e 0,18% de enxofre, será apresentado os resultados de usinabilidade, com o propósito de correlacionar a influência do enxofre na microestrutura e na usinabilidade do referido material.

## 4.2 Influência do Enxofre na Usinabilidade do Ferro Fundido Cinzento FC 25

A correlação dos resultados apresentados com os de usinabilidade é mostrado neste item. As curvas de desgaste da ferramenta são apresentadas na Fig. (6), Fig. (7) e Fig. (8), para as velocidades de corte de 100, 150 e 200 m/min, respectivamente.

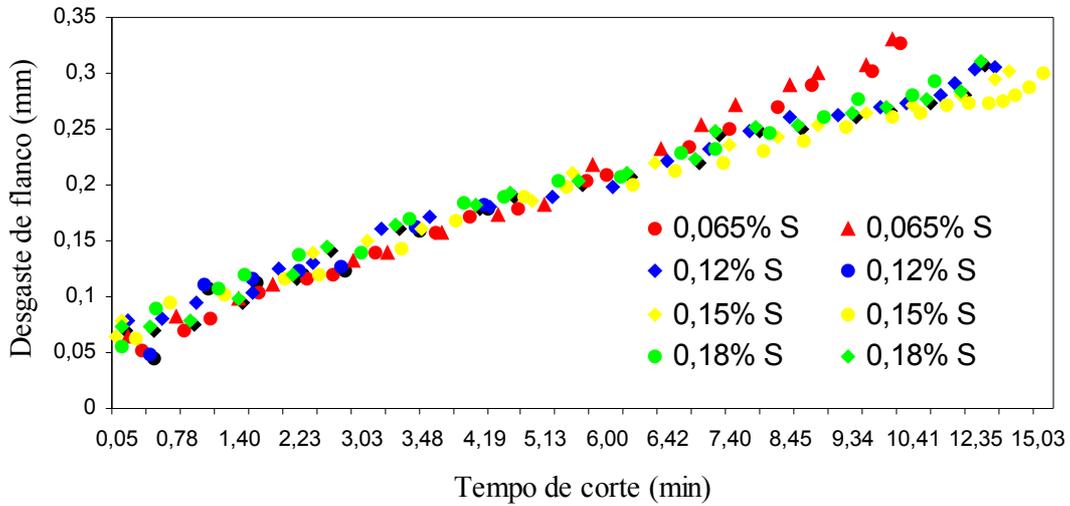


Figura 6 - Curvas de desgaste para o ferro fundido cinzento FC 25 usinado a 100 m/min.

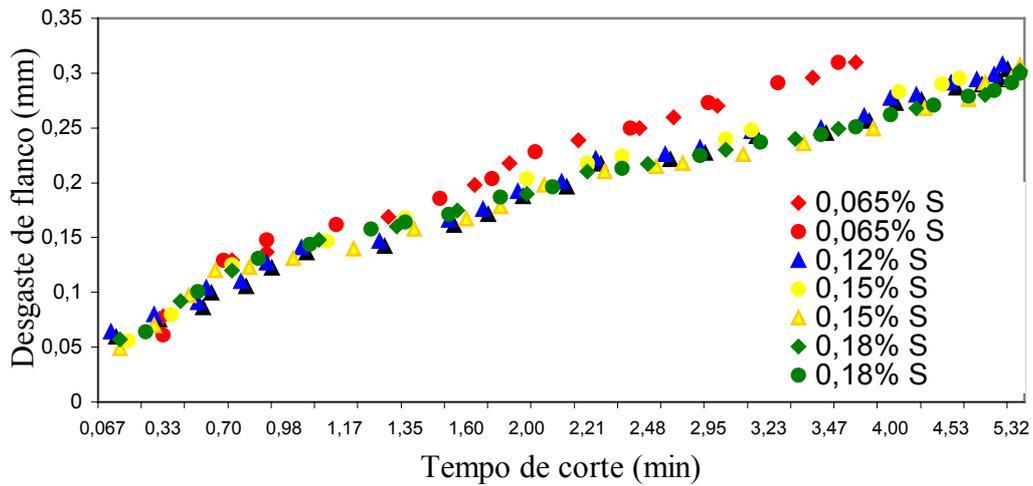


Figura 7 - Curvas de desgaste para o ferro fundido cinzento FC 25 usinado a 150 m/min.

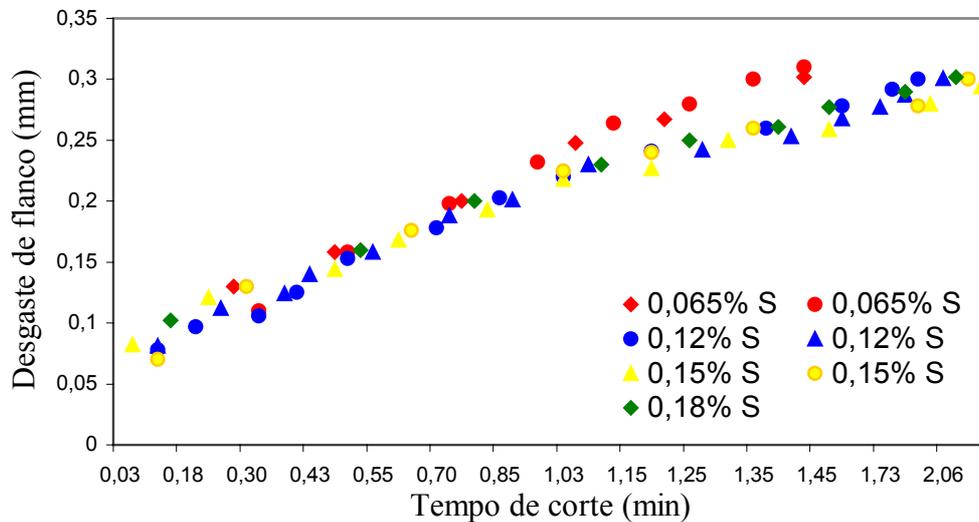


Figura 8 - Curvas de desgaste para o ferro fundido cinzento FC 25 usinado a 200 m/min.

Entre os quatro teores de enxofre estudados somente o material com 0,065% de enxofre apresentou uma intensa adesão. Para o ferro fundido cinzento com este teor de enxofre foi possível encontrar, freqüentemente, cavaco aderido na superfície de saída, Fig. (9).



Figura 9- Adesão na face da ferramenta de metal duro sem cobertura (0,065% S e  $v_c = 150$  m/min).

Para analisar uma possível relação entre o material da peça e da ferramenta, realizou-se os ensaios de usinabilidade com ferramenta de metal duro SNMA 120408 4015 com 14  $\mu\text{m}$  de cobertura composta por carbonitreto de titânio, óxido de alumínio e nitreto de titânio, aplicada pelo processo CVD. A Fig. (10) apresenta o cavaco aderido na superfície de saída da ferramenta. Assim, a intensa adesão do material da peça na face da ferramenta não pode ser simplesmente explicada através do material da ferramenta.



Figura 10 - Adesão na face da ferramenta de metal duro com cobertura (0,065% S e  $v_c = 150$  m/min).

Além do desgaste por adesão observou-se o desgaste por difusão, Fig. (11). O uso de ferramenta de metal duro sem cobertura conduz a um acentuado desgaste por difusão em razão da afinidade cobalto e do carbono da ferramenta com o ferro da peça (Ferraresi, 1982).

A Fig. (11), mostra o elemento tungstênio da ferramenta na superfície do cavaco que esteve em contato com a superfície de saída. Em razão do material da peça ter uma grande quantidade de carbono, não foi possível verificar, durante a análise química, se o elemento tungstênio encontra-se difundido no cavaco na forma de WC ou se houve a decomposição do WC em tungstênio e carbono.

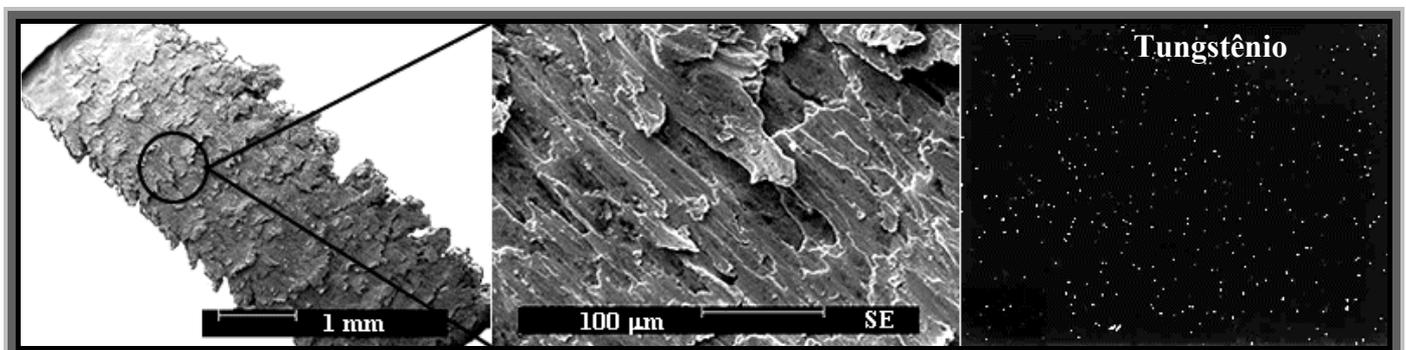


Figura 5.62 - Difusão do tungstênio da ferramenta para o cavaco. (0,15% S e  $v_c = 150$  m/min).

## 5. CONCLUSÕES

- Para uma efetiva redução do desgaste por adesão, deve haver uma mínima porcentagem da área da matriz ocupada por inclusões de sulfeto de manganês. Visto que somente o ferro fundido cinzento com 0,065% de enxofre apresentou uma intensa adesão, deduz-se que a menor porcentagem de área ocupada por sulfeto de manganês deve ser de  $(18 \pm 6) \times 10^{-3}$ , para reduzir a adesão do material da peça nas superfícies da ferramenta de corte.
- Para um nível de confiança de 95%, a usinabilidade do ferro fundido cinzento FC 25 com 0,12% e 0,18% de enxofre, usinado a 100 m/min, não difere significativamente;
- A usinabilidade do ferro fundido cinzento FC 25 com 0,12%, 0,15% e 0,18% de enxofre não difere significativamente quando usinado a 150 e 200 m/min.
- A melhor usinabilidade do ferro fundido cinzento contendo inclusões de sulfeto de manganês tipo III (0,18% S) em relação ao material com inclusões tipo I (0,065% S) indica que a usinabilidade não é influenciada pela morfologia mas pela área percentual de inclusões de sulfeto de manganês.
- Em relação ao ferro fundido cinzento com 0,12% de enxofre, o material com 0,065% S apresentou uma redução na vida da ferramenta de 24%, 32% e 38%, para as velocidades de 100, 150 e 200 m/min, respectivamente. Assim, o efeito dos sulfetos de manganês foi maior, apesar de menos expressivo, na usinagem do ferro fundido cinzento usinado em altas velocidades de corte.

## 6. AGRADECIMENTO

Os autores agradecem ao programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica (PosMec) da Universidade Federal de Santa Catarina e ao Usicon pelo suporte financeiro, a Capes pela bolsa de pesquisa e a empresa Tupy Fundições Ltda. pelo apoio técnico, fornecimento de matéria prima e bibliográfico utilizados neste trabalho.

## 7. REFERÊNCIAS

- ARAKI, T.; YAMAMOTO, S. In: INFLUENCE OF METALLURGY ON MACHINABILITY, 7, 1975. Proceedings of the International Symposium on Influence of Metallurgy on Machinability. United States of America: American Society for Metals, 1975. p.159-173.
- BRION, J. M. et al. Wear, n. 154, p. 225-239, 1992.
- CRAFTS, W.; HILTY, D. C. Proceeding of Electric Furnace Steel Conf., p. 121, 1953.
- ERICKSON, P. S.; HARDY, J. M. AFS Transactions, p. 407-416, 1976.
- FANG, X. D.; ZHANG, D. Wear, n. 197, p.169-178, 1996.
- JOSEPH, R. A.; TIPNIS, V.A. In: INFLUENCE OF METALLURGY ON MACHINABILITY, 7, 1975. Proceedings of the International Symposium on Influence of Metallurgy on Machinability. United States of America: American Society for Metals, 1975. p.55-72.
- LESKOVAR, P.; GRUM J. Mechanical Engineering Journal, v. 25, n. 3, p. 1-8, 1979.
- MONTGOMERY, D. C. Design and Analysis of Experiments. ed. 4. United States of America: John Wiley & Sons, 1997. p. 63-568.
- OPITZ, H. Proc. Int. Prod. Eng. Research Conf, Pittsburg. ASME, New York, 1963, pp.107-113.
- POULACHON, G. et al. Wear, n. 253, p. 339-356, 2002.
- RAMALINGAM, S. et al. In: INFLUENCE OF METALLURGY ON MACHINABILITY, 7, 1975. Proceedings of the International Symposium on Influence of Metallurgy on Machinability. United States of America: American Society for Metals, 1975. p.111-129.
- SAHM, A. et al. In: COMPACTED GRAPHITE IRON, 2002, Darmstadt. Machining Workshop. 2002.
- SUDO, T. T.; BRAGHINI JR.; COELHO, R. T. O Desgaste de Ferramentas na Usinagem de FoFo Cinzento a Alta Velocidade. O Mundo da Usinagem. São Paulo, v.1, n.1, p.27 - 31, 2001.

- TASAKA, K. et al. In: INFLUENCE OF METALLURGY ON MACHINABILITY, 7, 1975. Proceedings of the International Symposium on Influence of Metallurgy on Machinability. United States of America: American Society for Metals, 1975. p.130-141.
- VAN VLACK, L. J. Transactions ASM, v. 45, p. 741, 1953.
- YEO, R. B. G. Journal of Metals, v. 19, n. 7, p. 23, 1967.

## **SULFUR INFLUENCE ON GRAY CAST IRON FC 25 MACHINABILITY**

### **Adriana Ana Pereira**

GRUCON – Mechanical Engineering Department, Federal University at Santa Catarina, University Campus – Trindade, Florianópolis/SC, Brazil – EMC – 88010-970.

[adriana@grucon.ufsc.br](mailto:adriana@grucon.ufsc.br), [adrianap@emc.ufsc.br](mailto:adrianap@emc.ufsc.br).

### **Lourival Boehs**

GRUCON - Mechanical Engineering Department, Federal University at Santa Catarina, University Campus – Trindade, Florianópolis/SC, Brazil – EMC – 88010-970.

[lb@grucon.ufsc.br](mailto:lb@grucon.ufsc.br), [boehs@emc.ufsc.br](mailto:boehs@emc.ufsc.br).

### **Wilson Luiz Guesser**

Foundry Tupy. Metallurgical Engineering, R. Albano Schmidt, 3400, 89206-900, Joinville/SC. Materials Engineering Department, University of Santa Catarina State, Joinville/SC, Brazil.

[wguesser@tupy.com.br](mailto:wguesser@tupy.com.br).

*Abstract. The present research deals with sulfur the influence on gray cast iron machinability. The work material for this research were produced in commercial manufacturing conditions by Tupy Foundry with sulfur level ranging from 0.065% to 0.18%. The variation effects of the sulfur level on gray cast iron machinability were studied on the turning operation at cutting speed of 100, 150 e 200 m/min, with uncoated cemented carbide tool, using as assessment criterion the flank wear. The increasing on the sulfur percentage in the gray cast iron from 0.065% to 0.18%, did not produce significant alteration on mechanical properties and on the material microstructures. It was verified that for an effective reduction of the adhesive wear during the machining the smallest area occupied by the manganese sulfide must be  $(18 \pm 6) \times 10^{-3}$  %. The machinability of gray cast iron FC 25 with 0.12%, 0.15% and 0.18 % of sulfur does not differ significantly when machined to 150 and 200 m/min. In relation to gray cast iron FC 25 with 0.12% of sulfur, the material with 0.065% S presented a tool life reduction of 24%, 32% and 38%, for the speeds of 100, 150 and 200 m/min, respectively. From this research, important results were obtained, becoming viable the use of a higher sulfur percentage on the gray cast iron FC 25 production without the detriment of mechanical properties, microstructure and machinability.*

**Keywords:** gray cast iron, machinability, sulfur, manganese sulfide.