



O EFEITO DAS CARACTERÍSTICAS DAS INCLUSÕES DE SULFETO DE MANGANÊS NA USINABILIDADE

Adriana Ana Pereira

GRUCON – Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina.
adrianap@emc.ufsc.br

Lourival Boehs

GRUCON – Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina.
boehs@emc.ufsc.br

Wilson L. Guesser

Tupy Fundições.
wguesser@tupy.com.br

Resumo: O efeito da morfologia e da área das inclusões de sulfeto de manganês na usinabilidade do ferro fundido cinzento foi analisado 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. A melhor usinabilidade do ferro fundido cinzento contendo inclusões de sulfeto de manganês tipo III em relação ao material com inclusões tipo I indica que a usinabilidade não é influenciada pela morfologia mas pela área percentual de inclusões de sulfeto de manganês na matriz. 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 $(18 \pm 6) \times 10^{-3}$.

Palavras-chave: sulfeto de manganês, morfologia, usinabilidade.

1. INTRODUÇÃO

O ferro fundido cinzento apresenta na sua matriz a grafita que confere a este material excelentes propriedades, tais como: ótima condução de calor, excelente capacidade de amortecimento e superior usinabilidade entre todos os materiais. Na usinagem, a presença da grafita lamelar favorece a fragmentação do cavaco devido às pontas “vivas”, Figura 1, resultando em área com alta concentração de tensão e caminhos propensos ao aparecimento de fraturas durante a usinagem.

Além da grafita lamelar inserida na matriz do ferro fundido cinzento, a morfologia, o tamanho e a quantidade das inclusões de sulfeto de manganês influem na usinabilidade deste material. As inclusões de sulfeto de manganês, durante a usinagem, formam um filme lubrificante sobre as superfícies da ferramenta de corte reduzindo os desgastes. No entanto, este resultado depende das características das inclusões de sulfeto de manganês presente no material da peça. Assim, o próximo tópico apresenta a influência da morfologia, distribuição e quantidade da grafita na usinabilidade do referido material.

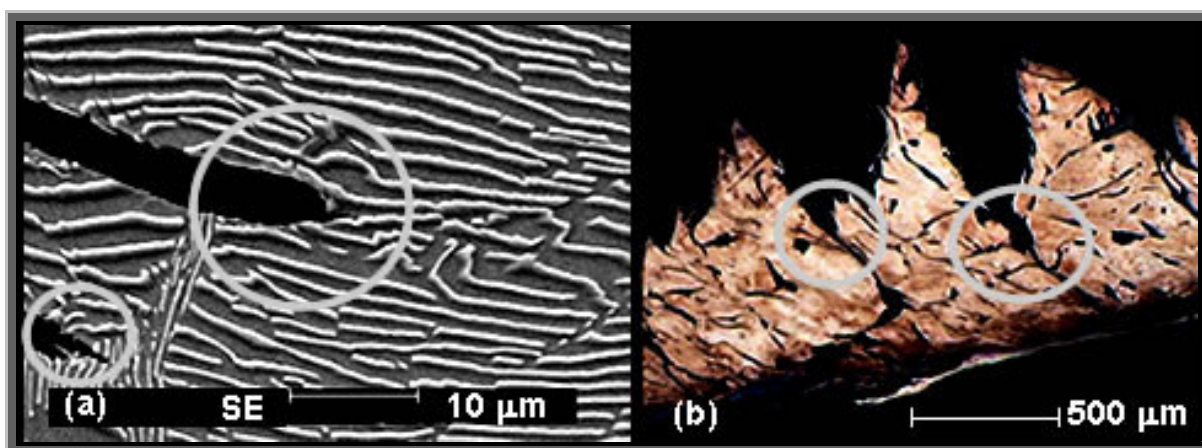


Figura 1: Efeito da grafita na usinabilidade do ferro fundido cinzento (Ana Pereira, 2005).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nos ferros fundidos cinzentos, diferentemente dos aços onde as inclusões de sulfeto de manganês são obtidas propositalmente para melhorar a usinabilidade, 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 influência das inclusões na usinabilidade.

A morfologia, a distribuição e o volume das inclusões de sulfeto de manganês influenciam fortemente o comportamento da inclusão durante o processo de usinagem. Assim, é de toda a conveniência entender a influência destas características das inclusões de sulfeto de manganês na usinabilidade.

2.1 Tamanho, forma, distribuição e volume das inclusões de sulfeto de manganês

O tamanho, a forma e a distribuição das inclusões de sulfeto de manganês influenciam fortemente na usinabilidade do material. Segundo Sims (1959) as inclusões de sulfeto de manganês são classificadas como tipo I, tipo II ou tipo III.

Como produto da reação metaestável são obtidos os sulfetos tipo I, enquanto que a morfologia tipo II e tipo III aparecem como produto da reação estável com partículas de alto ponto de fusão, como TiN e Al_2O_3 , atuando como substrato de nucleação para a inclusão de sulfeto de manganês. No ferro fundido cinzento as partículas com alto ponto de fusão aparecem como resultado do processo de inoculação. A adição de pequenas quantidades dos elementos Al, Si, Ca e/ou Ti, resulta em considerável refinamento das inclusões de MnS. A inoculação assume importante papel na dispersão das inclusões de sulfeto de manganês, sendo tanto maior o refinamento destas inclusões quanto maior for a afinidade do inoculante ao oxigênio. Assim é possível identificar uma direta relação entre o refinamento das inclusões de MnS e o grau de desoxidação (Hummer, 1974).

O grau de desoxidação no aço afeta diretamente a morfologia das inclusões de sulfeto de manganês. Quando não desoxidado, as inclusões de sulfeto de manganês apresentam-se no tipo I, no entanto, a adição de uma pequena quantidade de alumínio é suficiente para alterar a morfologia das inclusões de MnS para o tipo III. Quando o aço é completamente desoxidado por elementos tais como alumínio e titânio, as inclusões de sulfeto de manganês são do tipo II (Sims e Dahle, 1938).

O fato das inclusões abrasivas acompanharem a formação das inclusões de MnS tipo III explica o menor benefício destas inclusões na redução do desgaste da ferramenta, embora a potência necessária e a forma do cavaco permaneçam as mesmas. No entanto, quando não

acompanhadas por inclusões abrasivas, as inclusões de MnS tipo I e tipo III apresentam praticamente o mesmo coeficiente de atrito na interface cavaco-ferramenta, indicando que a película de MnS formada sobre a ferramenta de corte apresenta as mesmas características para ambos os tipos de inclusões (Ramalingam, 1975).

A alteração na morfologia da inclusão de sulfeto de manganês no ferro fundido cinzento, 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 tipo III (0,12% S) do que com inclusões 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 e Hilty, 1953; Leskovar e Grum, 1979; Mills e Akhtar, 1975; Paliwoda, 1964; Tasaka, et al. 1975; Van Vlack, 1953; Yeo, 1967), isto porque, como explicado anteriormente, as inclusões do tipo III são acompanhadas pelas inclusões abrasivas (Ramalingam, 1975).

As inclusões de sulfeto de manganês, sendo mais dúcteis que a matriz do aço, são mais deformadas na região primária e secundária de cisalhamento durante a formação do cavaco. Esta diferente deformabilidade favorece a iniciação de microtrincas entre as inclusões e a matriz que conseqüentemente conduzem à fratura do cavaco (Fang e Zhang, 1996; Brion, 1992). Assim, à medida que a fração de volume de MnS é aumentada na matriz, a ruptura do cavaco é melhorada (Boehs, 1979; Ramalingam, 1975; Joseph e Tipnis, 1975).

Segundo Joseph e Tipnis (1975) a taxa de desgaste, na ferramenta de aço-rápido, diminui até 1% da fração de volume de MnS, sendo que acima deste valor há pouca melhora no desgaste de flanco. Embora a melhora da taxa de desgaste do flanco seja insignificante para a fração de volume de MnS maior que 1%, o aumento deste valor conduz a uma melhor qualidade da superfície usinada, produção de cavacos menores, e redução na força de atrito entre a ferramenta e o cavaco como resultado da menor área de contato entre o cavaco e a ferramenta (Joseph e Tipnis, 1975).

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

3.1 Metodologia, Equipamentos e Matéria-Prima Empregada na Fundição

O material usado nesta pesquisa foi preparado 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, foi adicionado na carga do forno para produzir quatro diferentes teores de enxofre. Após ter sido processada a inoculação no jato com FeSiCaAl, o metal líquido foi vazado em moldes para produção dos corpos de prova.

3.2 Caracterização das Inclusões de Sulfeto de Manganês

Para determinação da área das inclusões de sulfeto de manganês foi empregado o software IMAGE-PRO PLUS, nas imagens com área de 0,142 mm². Definiu-se durante a análise que o menor comprimento da inclusão de MnS é de 3 µm, reduzindo a possibilidade dos óxidos e dos carbonitreto 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. Durante a avaliação da área, o software IMAGE-PRO PLUS também forneceu a quantidade de inclusões de MnS na área analisada, possibilitando a determinação da quantidade de inclusões de MnS/mm². Para cada teor de enxofre foram utilizadas três amostras metalográficas, e para cada uma dessas foram analisadas três imagens ampliadas 400 vezes.

3.3 Metodologia, Equipamentos e Materiais Empregados nos Ensaios de Usinabilidade

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 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 ensaios de usinabilidade realizados nas velocidades de corte de 100, 150 e 200 m/min, mantendo fixos $f = 0,257$ mm e $a_p = 2$ mm, foram desenvolvidos no processo de torneamento externo longitudinal num torno convencional com ferramentas SNMA 120408 de metal, classe KR3015, da empresa Sandvik. 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 um VB = 0,3 mm, levando em consideração a quantidade de matéria prima disponível e a evolução do desgaste da ferramenta de corte.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Avaliação do efeito do teor de enxofre na área das inclusões de MnS

Para avaliar a área das inclusões de MnS com 0,065%, 0,12%, 0,15% e 0,18% de enxofre, foi empregada a delineação embutida apresentada por Montgomery (1997). Selecionou-se aleatoriamente, para cada teor de enxofre (a), três amostras metalográficas (b). Para cada uma dessas foram realizadas três medições (n). Sendo o número de inclusões diferente para cada imagem, usou-se a média da área das inclusões de cada medição, isto é, cada medição (n) é a média da área das inclusões presente em cada imagem. O resultado das observações está apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Área média das inclusões de MnS (μmm^2)

amostra	0,065% S			0,12% S			0,15% S			0,18% S		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	11,98	8,58	13,46	33,28	30,87	11,22	36,00	310,60	229,80	32,60	72,10	61,10
	11,48	13,27	10,01	37,87	22,91	12,24	49,60	51,60	112,00	40,80	145,80	103,30
	6,37	14,19	14,62	18,98	54,17	11,73	94,30	50,70	83,10	31,10	61,80	70,10
Média	11,55			25,92			113,08			68,74		
Desvio padrão	2,76			14,49			94,56			36,66		

Para um nível de significância de 5%, $F_0 (7,87)$ é maior que $F_{cr} (4,07)$, portanto, a área média das inclusões de MnS difere significativamente com respeito ao teor de enxofre.

O efeito do enxofre na área das inclusões de MnS pode ser observado na Fig 2. Para melhor identificação, as inclusões de sulfeto de manganês encontram-se circundadas.

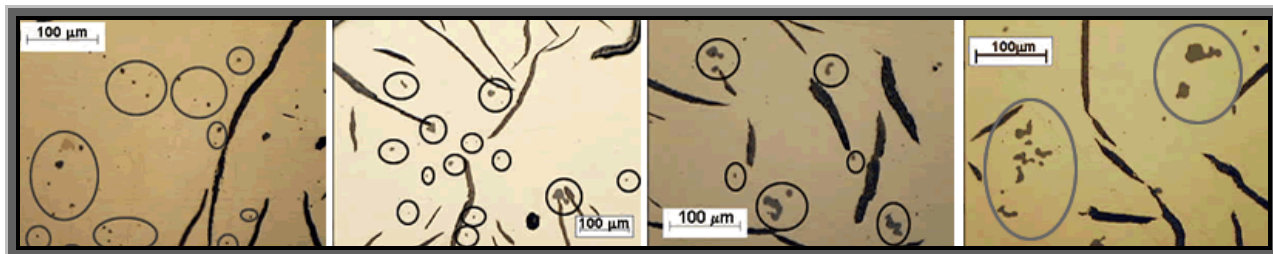


Figura 2: Inclusões de sulfeto de manganês no ferro fundido cinzento com 0,065%, 0,12%, 0,15% e 0,18% de enxofre.

A informação qualitativa obtida na Figura 2 é que o enxofre promove um aumento na área das inclusões de MnS e que esta diferença, segundo a análise estatística, é significativamente diferente.

4.2 Distribuição da área das inclusões de MnS

No ferro fundido cinzento FC 25 com 0,065% S, em média, 86% das inclusões de MnS apresentam uma área de 1 a 20 μmm^2 . No ferro fundido cinzento FC 25 com 0,12% S, 78% das inclusões de sulfeto de manganês possuem, em média, uma área entre 1 e 30 μmm^2 . No ferro fundido cinzento FC 25 com 0,15% e 0,18% de enxofre, 56% das inclusões de sulfeto de manganês, em média, encontram-se no intervalo de 5 e 40 μmm^2 .

Da análise da Figura 3, a área das inclusões de sulfeto de manganês no ferro fundido cinzento FC 25 com 0,065% S ($y = -0,03x^3 + 1,20x^2 - 13,90x + 49,93$, $R^2 = 0,96$) e 0,12% S ($y = -0,008x^3 + 0,39x^2 - 6,06x + 30,65$, $R^2 = 0,94$), pode ser descrita por um polinômio decrescente, enquanto que o ferro fundido cinzento FC 25 com 0,15% S e 0,18% S podem ser descrito por um polinômio com máximo localizado no intervalo de 10 - 20 μmm^2 (valor obtido derivando a equação $y = 0,0005x^5 - 0,024x^4 + 0,489x^3 - 4,538x^2 + 17,326x - 7,981$, $R^2 = 0,78$). Portanto, o aumento percentual do enxofre tende a promover uma inversão do polinômio, que descreve a distribuição da área das inclusões de sulfeto de manganês, de decrescente para crescente.

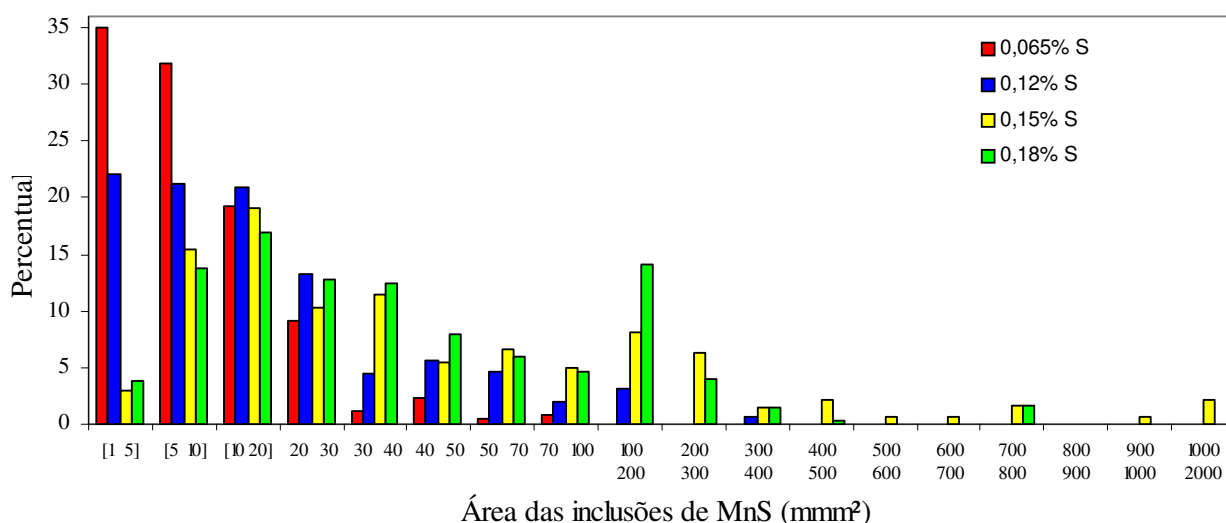


Figura 3: Distribuição da área das inclusões de sulfeto de manganês.

4.3 Quantidade das inclusões de Sulfeto de Manganês

Para avaliar o efeito do teor de enxofre na quantidade de inclusões de MnS, Tabela 2, foi empregada a delineação embutida (MONTGOMERY, 1997) para um nível de significância de 5%.

Tabela 2 - Quantidade das inclusões de MnS/mm²

	0,065% S			0,12% S			0,15% S			0,18% S		
amostra	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	99	78	120	141	78	148	85	155	56	148	148	127
	113	85	85	113	85	169	106	92	127	190	120	113
	99	78	106	134	78	159	134	106	113	148	106	99
Média	95			122			108			133		
Desvio padrão	15			35			29			28		

Como F_0 (1,66) é menor que F_{cr} (4,06), a quantidade das inclusões de MnS não difere significativamente com respeito ao teor de enxofre. Portanto, os teores de enxofre estudados influenciam significativamente na área média mas não na quantidade média das inclusões de MnS.

4.4 Porcentagem de inclusões de MnS

A correlação entre a área da amostra ocupada por inclusões de sulfeto de manganês e o teor de enxofre presente no material da peça é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 – Área da matriz ocupada pelas inclusões de MnS (%)												
	0,065% S			0,12% S			0,15% S			0,18% S		
amostra	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
Média	0,008			0,018			0,080			0,049		
Desvio padrão	0,002			0,010			0,067			0,026		

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

Como $F_0(7,84)$ é maior que $F_{cr}(4,06)$, a porcentagem da matriz ocupada por inclusões de MnS difere significativamente com respeito ao teor de enxofre.

4.5 Classificação das inclusões de MnS segundo o tipo

Foram escolhidas aleatoriamente imagens da microestrutura da peça para classificar as inclusões de sulfeto de manganês segundo o tipo. Observa-se na Figura 4 que as inclusões de MnS, no ferro fundido cinzento FC25 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 FC25 com 0,15% S as inclusões de MnS do tipo I e III ocorrem de forma balanceada. O ferro fundido com 0,18% S apresenta predominantemente inclusões de MnS do tipo III e uma pequena quantidade do tipo I.



Figura 4: Morfologia das inclusões de sulfeto de manganês no ferro fundido cinzento com 0,065%, 0,12%, 0,15% e 0,18% de enxofre.

Pode-se afirmar, com base nas informações qualitativas obtidas na Figura 4, que o percentual de enxofre é responsável pela alteração no tipo das inclusões. A verificação da teoria, referente à associação das inclusões de MnS do tipo III a partículas com alto ponto de fusão (OIKAWA, 1995), foi realizada através de microanálise química na inclusão de sulfeto de manganês apresentada na Figura 5. A ocorrência da inclusão de MnS com a morfologia tipo III apresentada não depende de óxidos, nitretos ou carbonetos como substratos de nucleação.

Embora não tenha sido encontrada partícula de alto ponto de fusão associada à inclusão apresentada na Figura 5, não são raras as ocorrências de inclusões abrasivas associadas aos sulfetos de manganês. A Figura 6(a) mostra uma inclusão de sulfeto de manganês nucleada sobre um carbonitreto de titânio. Contudo, este tipo de nucleação não é exclusivo das inclusões de sulfeto de manganês tipo III. A Figura 6(b), 6(c) e 6(d) mostram que as inclusões tipo I e tipo III podem, ou não, estar associadas a inclusões com alto ponto de fusão. Este tipo de análise se faz necessário para uma posterior correlação das informações referentes à microestrutura ao resultado de usinabilidade.

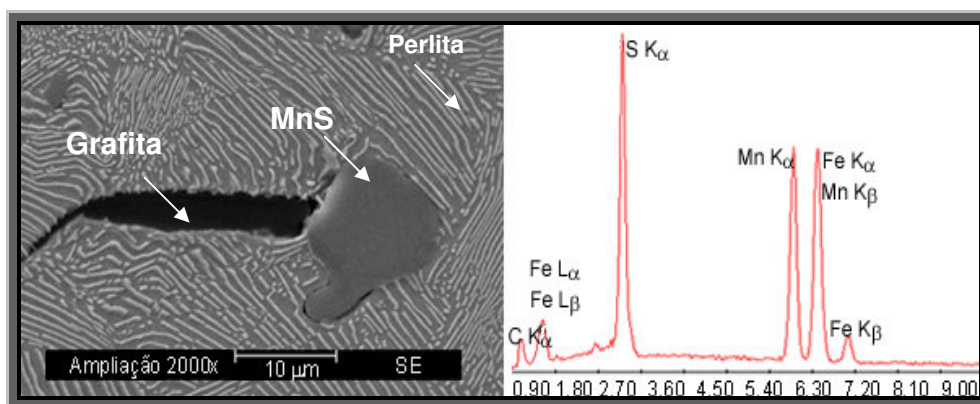


Figura 5: Microanálise química da inclusão de MnS tipo III no ferro fundido cinzento com 0,15% S.

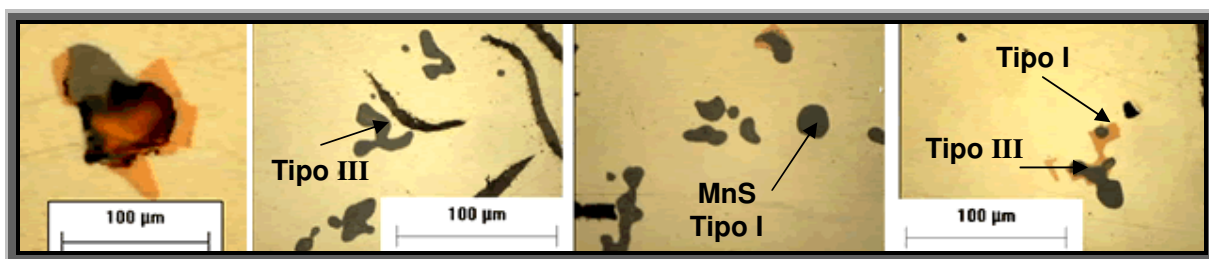


Figura 6: Associação das inclusões de MnS a inclusões abrasivas no ferro fundido cinzento.

Após a análise e caracterização das inclusões de MnS no ferro fundido cinzento com 0,065%, 0,12%, 0,15% e 0,18% de enxofre, será apresentado o resultados de usinabilidade, com o propósito de correlacionar as características das inclusões de MnS com o resultado de usinabilidade.

4.6 Influência das características das inclusões de MnS

A correlação dos resultados apresentados, em relação às inclusões de sulfeto de manganês, com os de usinabilidade é apresentada neste item. A curva de vida da ferramenta é apresentada na Figura 7.

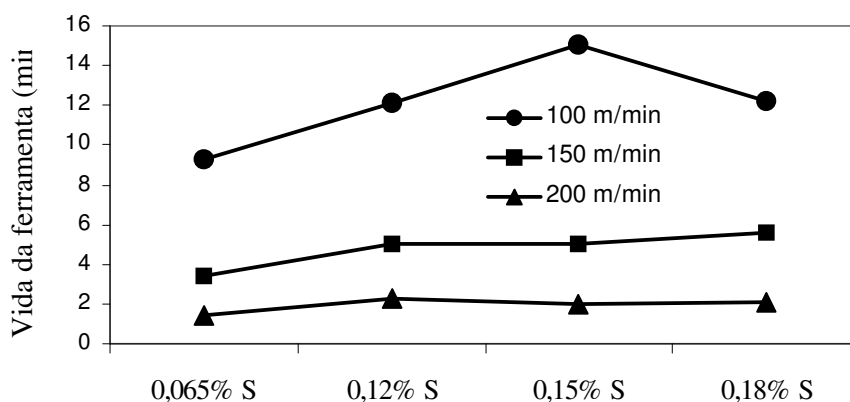


Figura 7 - Vida da ferramenta em função do percentual de enxofre para VB = 0,3 mm.

A melhor usinabilidade do ferro fundido cinzento FC 25 contendo inclusões de sulfeto de manganês tipo III (0,18% S), Fig. 8, 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 na matriz, Tabela 3, concordando com o resultado obtido por Erickson (1976).

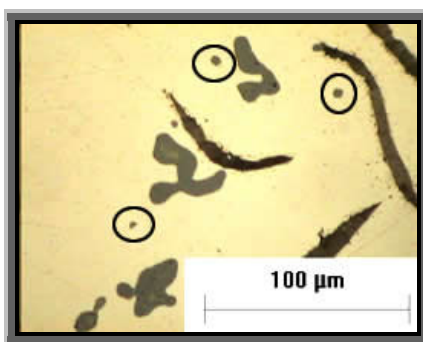


Figura 8: Morfologia das inclusões de MnS no ferro fundido cinzento FC 25 com 0,18% S.

Entre os quatro teores de enxofre estudados, somente o material com 0,065% de enxofre apresentou uma intensa adesão do material da peça na face da ferramenta de corte. Para o ferro fundido cinzento FC 25 com este teor de enxofre foi possível encontrar, frequentemente, cavaco aderido na face da ferramenta, Figura 9, confirmando que na usinagem do ferro fundido cinzento a área, e não a morfologia, assume importante papel na melhor usinabilidade.

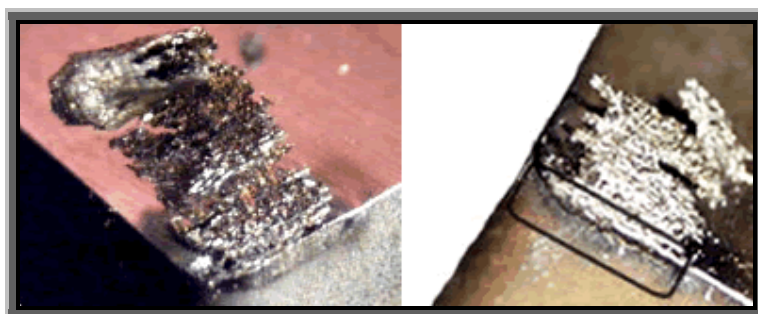


Figura 9: Adesão na ferramenta de metal-duro sem e com cobertura de Ti(C,N) (0,065% S e $v_c = 200$ m/min).

A Figura 10 mostra que a morfologia das inclusões de MnS tem pouca influência na interface cavaco-ferramenta. No entanto, a área destas inclusões assume importante papel no resultado esperado, visto que para maiores teores de enxofre a área das inclusões é maior. Para o ferro fundido cinzento com 0,065% S e 0,12% S o tamanho das inclusões de sulfeto de manganês é de aproximadamente 20 μm e 40 μm , respectivamente.

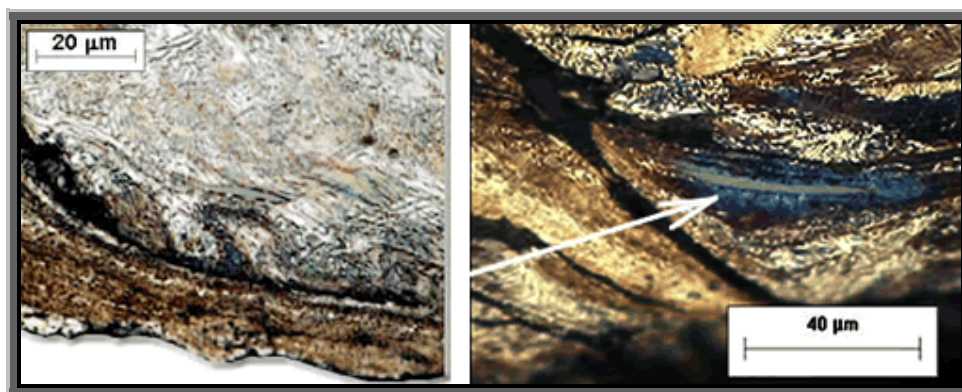


Figura 10 - Inclusão de MnS no cavaco com 0,065% S e 0,12% S ($v_c = 150$ m/min).

5. CONCLUSÃO

O ferro fundido cinzento 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, em relação ao ferro fundido cinzento FC 25 com 0,12% de enxofre (tomado como referência devido ao seu uso na produção do ferro fundido cinzento).

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 das inclusões de sulfeto de manganês.

Visto que somente o ferro fundido cinzento FC 25 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.

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

- ANA PEREIRA, A., 2005, “Influência do Enxofre na Microestrutura, nas propriedades Mecânicas e na Usinabilidade do Ferro fundido Cinzento FC 25” - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- JOSEPH, R. A., TIPNIS, V.A., 1975, “The Influence of Non-Metallic Inclusions on the Machinability of Free-Machining Steels”. United States of America: American Society for Metals, 55-72, 1975.
- SIMS, C.E. “The Nonmetallic Constituents of Steel”. Transactions AIME, v. 215, 1959
- OIKAWA, K. et al. “The Control of the Morphology of MnS Inclusions in Steel during Solidification”. ISIJ Int., v. 35, n. 4, p. 402-408, 1995.
- HUMMER, R. “Some Aspects of Inoculation of Flake and Nodular Graphite Cast Iron”. Georgi Publishing Company, 1974. p.174-160.
- SIMS, C.E.; DAHLE, F.B. “The Effect of Aluminum on the Properties of Medium Carbon Cast Steel”. AFS Transactions, v. 46, p. 65-132, 1938.
- RAMALINGAM, S. et al. “The Role of Sulfide Type and of Refractory Inclusions in the Machinability of Free Cutting Steels”. American Society for Metals, 1975. p.111-129.
- ERICKSON, P. S.; HARDY, J. M. “Effect of Manganese Sulfide Inclusions in Cast Gray Iron on Tool Life”. AFS Transactions, p. 407-416, 1976.
- CRAFTS, W.; HILTY, D. C. “Sulfide and Oxide Formation in Steel”. Proceeding of Electric Furnace Steel Conf., p. 121, 1953.
- MILLS, B.; AKHTAR, S. “A Metallurgical and Machining Study of Free Machining Low Carbon Steels”. American Society for Metals, 1975. p.73-88.
- PALIWODA, E. J. The role of oxygen in Free Cutting Steels. Proceedings AIME Mechanical Working of Steel 2, v. 26, p.27-47, 1964.
- TASAKA, K. et al. “Effect of Oxides Sulfides on the Machinability of Steels”. United States of America: American Society for Metals, 1975. p.130-141.
- VAN VLACK, L. J. “Correlation of Machinability with Inclusion Characteristics in Resulphurized Bessemer Steels”. Transactions ASM, v. 45, p. 741, 1953.

- YEO, R. B. G. "The Effect of Oxygen in Resulfurized Steels". Journal of Metals, v. 19, n. 7, p. 23, 1967.
- POULACHON, G. et al. Sulphide inclusion effects on tool-wear in high productivity milling of tool steels. Wear, n. 253, p. 339–356, 2002.
- HAZRA, J.; KENEDY, E. M. "The Influence of Metallurgical Processing on Machinability". United States of America: American Society for Metals, 1975. p.202-218.
- FANG, X. D.; ZHANG, D. "An Investigation of adhering layer formation during tool wear progression in turning of free-cutting stainless steel". Wear, n. 197, p.169-178, 1996.
- BRION, J. M. et al. "Mechanisms of Built-up Layer Formation on Turning Tools: Influence of Tool and Workpiece". Wear, n. 154, p. 225-239, 1992.
- BOEHS, L. Influência do Sulfeto de Manganês na Usinabilidade do Ferro Fundido Maleável Preto Ferrítico. 1979. 105f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1979.
- MONTGOMERY, D. C. "Design and Analysis of Experiments". ed. 4. United States of America: John Wiley & Sons, 1997. 63-568.

THE INFLUENCE OF INCLUSIONS ON MACHINABILITY

Adriana Ana Pereira

GRUCON – Dept. of Mechanical Engineering. Federal University at Santa Catarina.
adrianap@emc.ufsc.br

Lourival Boehs

GRUCON – Dept. of Mechanical Engineering. Federal University at Santa Catarina.
boehs@emc.ufsc.br

Wilson L. Guesser

Tupy Fundições. Metallurgical Engineering. Joinville/SC.
wguesser@tupy.com.br

Abstract: *The effect of the morphology and percentage area of manganese sulfide inclusions on machinability of gray cast iron 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 best machinability of gray cast iron FC 25, with type III MnS inclusions (0.18% S) – as compared to material with type I inclusions (0.065%) – indicates that the machinability is not significantly affected by the morphology, but by the percentage area of the inclusions instead. 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 $(18 \pm 6) \times 10^{-3} \%$.*

Keywords: *manganese sulfide, morphology, machinability.*