

RESISTÊNCIA AO DESGASTE DE FERROS FUNDIDOS BRANCOS COM 13%
DE CROMO TEMPERADOS¹

Amilton Sinátora²
Paulo Roberto Mei³
André Paulo Tschiptschin⁴

Estudaram-se os efeitos da temperatura de austenitização, porcentagem de austenita retida e da dureza na taxa de desgaste abrasivo (ensaio do pino contra disco) de ferros fundidos brancos com alto cromo. Verificou-se a redução da taxa de desgaste com a elevação da porcentagem de austenita e a redução da dureza, para ambos os abrasivos espregados (SiC e Silex).

Observações em MEV de riscos efetuados com diamante em superfícies polidas sugerem que a predominância de microcorte nas amostras martensíticas é responsável por sua maior taxa de desgaste em comparação com as austeníticas, onde há predominância de microsulcamento.

- 1 - Contribuição técnica a ser apresentada no 45º Congresso Anual da ABM - Comissão de Metalurgia Física
- 2 - Membro ABM, professor assistente doutor, Departamento de Engenharia Mecânica - EPUSP.
- 3 - Membro ABM, professor titular, Departamento de Engenharia de Materiais - FEC-UNICAMP
- 4 - Membro ABM, professor assistente doutor, Departamento de Engenharia Metalúrgica - EPUSP

1. Introdução

Os ferros fundidos brancos com alto cromo tem grande emprego na fabricação de peças fundidas para revestimentos de molinos, bolas, calhas a sasso componentes de moinhos ou britadores de impacto. São ligas Fe-Cr-C que podem conter molibidênio, níquel cobre ou manganês para elevar a temperabilidade, notadamente em seções espessas.

Nos ensaios de laboratório o desempenho relativo das matrizes austeníticas e martensíticas no ensaio do pino, não está consistentemente estabelecido e parece depender fortemente do tribosistema. Os principais resultados são os seguintes:

Quando o abrasivo é SiC ou Al_2O_3 , as matrizes austeníticas parecem ter melhor desempenho que as martensíticas (1-6); a exceção do trabalho de Fang (7) no qual ambas tem o mesmo desempenho e o de Diesburgh e Borik (8), onde as martensíticas tem maior desempenho no ensaio com alumina.

Quando o abrasivo é granada as matrizes austeníticas teriam melhor desempenho quando a fração volumétrica de carbonetos fosse menor que 20%, de acordo com os resultados obtidos por Iuz-Gahr e Eidis (1) que variaram a fração volumétrica de carbonetos, mantendo a relação Cr/C = 7,5). Turvey (2), por sua vez verificou que este comportamento também ocorreria em ligas com cerca de 30% de carbonetos. Ja King e colaboradores (3) verificaram que as matrizes martensíticas teriam melhor desempenho para diversas frações volumétricas de carbonetos em ligas onde se variou a relação Cr/C, resultado que já havia sido observado anteriormente por Gundlach e Parks (4). Fang (7) propôs que o comportamento relativo das matrizes austeníticas e martensíticas dependesse da relação Cr/C. As matrizes austeníticas teriam melhor desempenho que as martensíticas quando a relação Cr/C fosse maior que 5. Entretanto resultados de Watson e colaboradores (5) mostram exatamente o contrário.

2. Materiais e Métodos

As ligas tinham 2% de carbono, 12,5% de cromo e 0,6; 1,2 e 1,8% de manganês. Amostras das três séries foram austenitizadas a 950; 1050 e 1150°C por 3 horas e temperadas em óleo, obtendo-se as porcentagens de austenita retida e durezas indicadas na tabela I e II, respectivamente.

Tabela I - Fração volumétrica de austenita retida em função da temperatura de austenitização.

Teor de Manganês	Temperatura de Austenitização	Austenita Retida (%)	Desvio Padrão
0,6	950	11,0	0,9
	1050	54,0	5,2
	1150	97,0	1,6
1,2	950	15,0	4,8
	1050	55,0	3,8
	1150	100,0	0,0
1,8	950	22,0	3,8
	1050	43,0	11,7
	1150	96,0	2,0

Tabela II - Macro dureza Vickers para as ligas temperadas.

Teor de Manganês	T. Aust. (°C)	950	1050	1150
0,6	Macro dureza	777	561	429
	Desvio padrão	9	2	9
1,2	Macro dureza	699	586	383
	Desvio padrão	22	8	8
1,8	Macro dureza	744	672	413
	Desvio padrão	42	33	1

O ensaio de desgaste efetuado foi o teste do pino ("pin test"). A versão do ensaio empregada foi a devida a Berns e Fischer (3), na qual um pino do material a ser ensaiado é simultaneamente rodado e transladado contra uma lixa de determinado material abrasivo. Os resultados, medidos

de três determinações, são apresentados na forma de taxa de desgaste calculada segundo a equação $W = m/(rA)$, onde:

W = taxa de desgaste
 l = distância percorrida do pino contra o abrasivo
 r = densidade do material testado
 A = área de contato aparente
 m = perda de massa

Complementarmente ao ensaio do pino efetuou-se ensaio de riscamento de amostras selecionadas. Neste ensaio efetuou-se o riscamento de amostras preparadas metalograficamente e arredadas, com uma ponta de diamante, carga de 25g e velocidade de deslocamento de 1,8 m/s.

3. Resultados e discussão

As microestruturas das três ligas, temperadas após austenitização a 950, 1050 e 1150° C eram constituídas de células eutéticas formadas de carbonetos M_7C_3 , e uma matriz metálica.

As matrizes eram predominantemente martensítica nas amostras austenitizadas a 950°C; austenítico-martensítica nas amostras austenitizadas a 1050°C e austenítica nas amostras temperadas de 1150°C. Nas três ligas ao aumento da porcentagem de austenita retida correspondeu um decréscimo de dureza.

A comparação das microestruturas das amostras austenitizadas a 950, 1050 e 1150°C ao microscópio eletrônico de varredura mostrou que a quantidade de carbonetos secundários diminuiu com o aumento da temperatura, como se vê nas micrografias 1.A, 1.B e 1.C.

Ensaio de desgaste

Os ensaios de desgaste foram efetuados empregando-se os abrasivos carboneto de silício e sílex, 80µm, para as amostras austenitizadas a 950, 1050 e 1150°C.

A tabela III mostra as taxas de desgaste bem como as relações entre dureza do abrasivo e dureza do material ($D_{\text{abrasivo}}/D_{\text{material}}$) para os dois abrasivos empregados.

Tabela IV - Taxa de desgaste de $D_{\text{abrasivo}}/D_{\text{material}}$

Teor de Manganeso (%)	T. de Aust. (°C)	Taxa de desgaste ($\times 10^{-3}$)		$D_{\text{abra}}/D_{\text{mat}}$	
		SIC	Silex	SIC	Silex
0,4	950	3,68	0,94	3,34	1,35
	1050	3,15	0,74	4,63	1,87
	1150	2,52	0,58	6,06	2,44
1,2	950	4,54	1,28	4,54	1,43
	1050	3,86	1,22	3,86	1,58
	1150	3,29	0,86	6,28	2,55
1,8	950	4,27	0,86	3,71	1,50
	1050	3,64	0,86	4,43	1,79
	1150	2,85	0,69	6,78	2,63

As figuras 2, 3, e 4 mostram, respectivamente, a variação da taxa de desgaste com a temperatura de austenitização, com a microdureza e, por fim, com a porcentagem de austenita retida, para os dois abrasivos empregados e as três ligas estudadas.

Verifica-se que a taxa de desgaste diminui continuamente com a elevação da temperatura de austenitização, para os dois abrasivos empregados. Esta diminuição contínua da taxa de desgaste com a elevação da temperatura de austenitização difere dos resultados de Zue-Gahr (1). Este autor relata ter observado a diminuição da resistência ao desgaste com a elevação da temperatura de austenitização em ligas com 28% de carbonetos ensaiadas com grande 150 mesh.

A taxa de desgaste diminui com a queda de dureza num comportamento contraditório com o senso comum como se vê na figura 3.

Na figura 4 nota-se que a taxa de desgaste diminui com a elevação da porcentagem de austenita retida. Verifica-se que a variação da taxa de desgaste com a dureza é oposta a variação daquela taxa com a porcentagem de austenita retida.

Na figura 5, observa-se a superfície desgastada da amostra sustentada a 950°C , com matriz predominantemente martensítica. Foram frequentes as ocorrências de trincas (T) e faces de fratura (F), como indicado na micrografia. O deslocamento e dobramento (D) do metal para as bordas do risco produzido pelo abrasivo também ocorreu sendo, entretanto, mais frequente na amostra com matriz austenítica. As evidências acima sugerem que a fratura da matriz, aliada ao microcorrente, podem ser mecanismos importantes de remoção de material, quando a matriz é martensítica.

Na figura 6 mostra-se o resultado do riscamento efetuado com diamante para se analisar, com mais detalhes a interação abrasivo-metal. Não há evidência de que os carbonetos secundários desempenhem qualquer papel no sentido de dificultar a ação de corte, na mesma figura verifica-se que há pouco material acumulado na borda do risco e que esta é nítida indicando fratura e remoção do material.

A micrografia da figura 7 mostra a superfície desgastada de amostra sustentada a 1150°C , com matriz austenítica. Observa-se, com frequência, nestas amostras, deslocamento e dobramento de material para a borda do sulco causado pelas partículas do abrasivo. Notou-se também, cruzamentos de riscos e deslocamento de material para a borda do novo risco, na região onde esta cruzou o risco anterior, evidenciando intensa capacidade de deslocação plástica da matriz austenítica.

Para uma análise mais detalhada da interação abrasivo-metal efetuou-se ensaio de riscamento com diamante de amostra sustentada a 1150°C como mostra a figura 8. Nota-se que as bordas do risco não são nítidas sugerindo acúmulo de material ao contrário do que se evidenciava na figura 6. A remoção de material neste caso parece ocorrer por microcorrente e estiramento.

A maior resistência ao desgaste do material austenítico em relação a amostra com matriz predominantemente martensítica, sugere que microcorrente que é predominantemente martensítica, não deve ser o principal mecanismo operante no desgaste abrasivo dos materiais de matriz austenítica.

Uma possibilidade para explicar a pequena perda de massa durante o ensaio do material austenítico é a ocorrência repetida de microencruamento, sendo o material removido somente após intenso encruamento por microcorrente ou estiramento. Como a austenita tem uma maior capacidade de encruamento, pode resistir ao estiramento que as algumas amostras. Por sua vez o material martensítico parece perder massa por microcorrente.

Pode-se ainda aventar a hipótese de que as menores taxas de desgaste do material austenítico se deve a transformação da austenita em martensita com absorção de energia e endurecimento da superfície de desgaste. Esta hipótese baseia-se na medida de austenita retida da superfície do material desgastado segundo Netto (9) ou na identificação de picos de ferrita/martensita no espectro de difração segundo Turreson (2). Entretanto, a evidência de aumento da resistência ao desgaste com o aumento da estabilidade da austenita (maiores temperaturas de sustentação com menor taxa de desgaste) não aponta, no presente trabalho esta interpretação.

As taxas de desgaste são sempre maiores quando se emprega o abrasivo SiC do que o Silix. Isto se deve a diferença de dureza destas abrasivos.

Com as durezas dos abrasivos e as durezas das amostras construí-se a curva da figura 9, relacionando a taxa de desgaste com a relação entre as durezas dos abrasivos e as durezas dos materiais ($D_{\text{abrasivo}}/D_{\text{material}}$). Esta curva apresenta duas diferenças em relação as apresentadas na literatura (1,8)

Na literatura relatase que a transição de desgaste moderado para desgaste severo (1,8) ocorre quando a relação entre a dureza do abrasivo e a dureza do carboneto supera valor 1,25. Isto porque quando a dureza do carboneto for ligeiramente maior que a do abrasivo este não será mais barreira efetiva para evitar o riscamento da matriz.

O carboneto de silício tem dureza (3000V) muito mais elevada que o M_7C_3 (1300 -1800 Hv). A relação entre dureza do SiC e a dureza do M_7C_3 $D_{\text{SiC}}/D_{\text{M}_7\text{C}_3}$ varia entre 1,44 e 2,26 dependendo dos níveis de dureza do carboneto empregados. Para o silix que tem dureza (1100HV), relativamente baixa em relação ao M_7C_3 , a relação $D_{\text{silix}}/D_{\text{M}_7\text{C}_3}$ varia entre 0,83 e 1,27. Entretanto, no presente trabalho tanto $D_{\text{SiC}}/D_{\text{M}_7\text{C}_3}$ quanto $D_{\text{silix}}/D_{\text{M}_7\text{C}_3}$ situam-se na região de desgaste moderado da figura 9.

Os resultados da figura 9 mostram que nos materiais estudados a transição ocorre em torno do valor 1,5 da relação $D_{\text{abrasivo}}/D_{\text{mat}}$. Se o valor de transição fosse atribuído ao carboneto M_7C_3 estas amostras se comportando com as mesmas dureza ao redor de 2.600 Vickers! Esta deslocação da transição em relação ao previsto pela literatura deve, então ser atribuído a capacidade que a austenita tem de se deformar diante da ação do abrasivo, ao invés de ser removido antes de ser riscado, suportado repetidas vezes a ação do abrasivo antes de ser riscado.

A inclinação negativa dos patamares superior e inferior da figura 10 indica que quanto maior a dureza do material, maior a taxa de desgaste, refletindo a influência da austenita retida como já foi discutido anteriormente.

Verifica-se que em geral a liga com 1,84 Mn tem maior taxa de desgaste das três ligas estudadas. Este comportamento, também verificado por outros pesquisadores, foi atribuído (8) a presença do manganês nos carbonetos estáticos.

Conclusões

O estudo realizado mostrou que:

1. A elevação da temperatura de austenitização levou a diminuição progressiva da taxa de desgaste.
2. Ao aumento da dureza correspondeu um aumento na taxa de desgaste.
3. A elevação da porcentagem de austenita retida levou a diminuição da taxa de desgaste para os dois abrasivos empregados.
4. Supere-se que a resoaço do material na liga martensítico seja predominantemente por microcorte enquanto que no austenítico seja por microfadiga e estiramento do material encruado por passes sucessivos do abrasivo.
5. A transição desgaste suave/desgaste intenso ocorreu para $D_{abr}/D_{mat} = 2,5$ devido a presença de austenita retida.

Bibliografia

01. ION-GANG, K.H. & ELLIS, C.T. - "Abrasive Wear of White Cast Irons". *Metals Technol.* V. 44, N.º 2, 1980, pp. 175-194.
02. TURNER, S. et alii. "The effect of Matrix Microstructure on the Abrasion Resistance of High-Cr White Cast Irons". in *Wear Resistance of Metals and Alloys*. Proc. Symp. ASM 1989, pp. 105-113.
03. KING, J. et alii. "An Investigation on the Wear Resistance of High Chromium Cast Iron". *Wear of Materials*, 1983, pp. 45-61.
04. GUNDLACH, R.B. & PARKS J.L. "Influence of Abrasive Hardness on the Wear Resistance of High Chromium Irons". *Metals Technol.* V. 43, N.º 2, 1978, pp. 97-108.

05. WATSON, J.D. et alii. "Abrasive Wear of White Cast Irons". *Metals Technol.* N.º 1, V. 3, 1980, pp. 74-88.
06. FANG, L. et alii. "Abrasive Wear Resistance of Chromium Family White Cast Irons". *China J. Mat. Sci. Technol.* V. 4, 1988, pp. 16-23.
07. DIESBURGH, D.E. & BORIK, F. - "Optimizing Abrasion Resistance and Toughness in Steels and Irons for the Mining Industry".
08. ZHOU, Q.D., & RAO, Q.C. "The Influence of Alloying Elements Si, Mn, V, Cu and B on the Structures and Properties of High Chromium White Cast Irons". *Anais do 5.º Congresso Internacional de Fundição, Moscou, 1988*. 10 pp.
09. BERNH, H. - "Verschleissänderung durch Karbidreiche Stähle" - VDI - Ser. 194, VDI - Verlag, Dusseldorf, pag. 95, 1973.

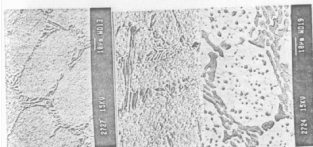


Figura 1. Microestruturas A) amostra austenitizada a 950°C; B) 1050°C e C) 1150°C. Liga com 0,6% de manganês

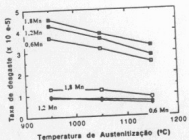


Figura 2. Taxa de desgaste com os abrasivos SiC e sílex em função da temperatura de austenitização para as ligas com 0,6; 1,2 e 1,8% de manganês.

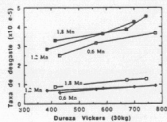


Figura 3. Taxa de desgaste com os abrasivos SiC e sílex em função da macrodureza Vickers para as ligas com 0,6; 1,2; e 1,8% de manganês.

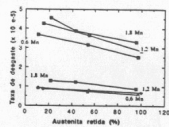


Figura 4. Taxa de desgaste com os abrasivos SiC e sílex em função da porcentagem de austenita para as ligas com 0,6; 1,2 e 1,8% de manganês.

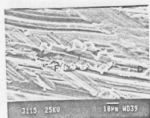


Figura 5. Superfície da amostra austenitizada a 950°C, 11% de austenita. Liga com 0,6% de manganês.

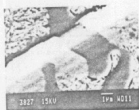


Figura 6. Riscamento com ponta de diamante. Material austenitizado a 950°. Detalhe do riscamento da matriz. Liga com 0,6% de manganês.

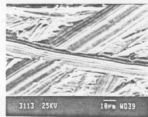


Figura 7. Superfície desgastada da amostra austenitizada a 1150°C, 97% de austenita. Liga com 0,6% de manganês.

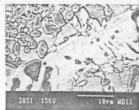


Figura 8. Riscamento com diamante da amostra temperada de 1150°C. Trincamento de carbonetos (C) e destacamento dos carbonetos da matriz.

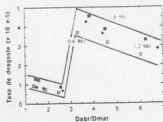


Figura 9. Taxa de desgaste com os abrasivos SiC e silix em função da relação dureza do abrasivo e a dureza do material $[D_{abrasivo}/(D_{mat})]$ para as ligas com 0,6; 1,2 e 1,8% de mangâneso.

COMPORTAMENTO EM DESGASTE DE FERROS FUNDIDOS BRANCOS DE ALTO CROMO REVENIDOS CONTENDO VANÁDIO¹

André Paulo Tschiptschin²
Ailton Sinhora³

Estudou-se o comportamento no revenido de uma liga Fe-C-Cr-V, contendo 6 % de Vanádio, após austenitização e têmpera de 950, 1050 e 1150°C. As amostras foram revenidas a 450, 550 e 650°C por duas horas.

Foram medidas a dureza, a porcentagem de austenita retida (difração de raios X) e a resistência ao desgaste (teste do pino contra lixa), para todas as condições estudadas. O objetivo foi o de verificar o efeito da microestrutura sobre a resistência ao desgaste.

Concluiu-se que a porcentagem de austenita retida é a variável microestrutural que determina a resistência ao desgaste deste material.

A liga estudada apresentou alta resistência ao revenido com tendência ao endurecimento secundário. Tal comportamento pode ter influência benéfica na resistência ao desgaste, dependendo da porcentagem de austenita retida na matriz.

- 1 - Contribuição técnica a ser apresentada no 45º Congresso Anual da ABM - Comissão de Metalurgia Física
- 2 - Membro ABM, professor assistente doutor, Departamento de Engenharia Metalúrgica - EPUSP
- 3 - Membro ABM, professor assistente doutor, Departamento de Engenharia Mecânica - EPUSP.