

EFEITO DA PORCENTAGEM DE AUSTENITA RETIDA NA TAXA DE DESGASTE DE FERROS FUNDIDOS BRANCOS DE ALTO CROMO CONTENDO OU NÃO VANÁDIO (1)

Amilton Sinatora (2)  
Paulo Roberto Mei (3)  
André Paulo Tschiptschin (4)

RESUMO

Estudou-se o efeito da porcentagem de austenita retida na dureza e na taxa de desgaste de ferros fundidos brancos resistentes ao desgaste. Temperaram-se ligas 12.7Cr-2,0C-0,6Mn e 12,0Cr-2,3C-6,5V de 950, 1050 e 1150°C. A porcentagem de austenita retida (entre 5 e 100%) foi medida por difração de raios X e a taxa de desgaste utilizando o teste do pino com abrasivo de SiC-80 e flint 80. A taxa de desgaste diminuiu com a queda da dureza. Verificou-se ainda que nos materiais com matrizes austenítico-martensíticas a taxa de desgaste é função inversa da porcentagem de austenita retida e independente da composição química.

ABSTRACT

The effect of retained austenite content upon bulk hardness and wear rate, of high chromium abrasion resistant white cast iron was studied. Alloys with 12.7Cr-2.0C-0.6Mn and 12.0Cr-2.3C-6.5V were quenched from 950, 1050 and 1150°C. X ray diffraction technique was employed to measure the retained austenite content (between 5 and 100%). Wear rate was measured using a pin-on-table test apparatus with both SiC 80 or flint 80 as abrasives. The wear rate decreased with hardness increase. The wear rate of martensitic-austenitic white cast irons only dependent on austenite content and increased as this content decreased.

- (1) Trabalho apresentado no 1º Seminário sobre Materiais Resistentes ao Desgaste.
- (2) Membro da ABM, Eng. Metalurgista, Mestre em Engenharia, Professor Assistente do Departamento de Engenharia Mecânica - EPUSP.
- (3) Membro da ABM, Eng. Aeronáutico, Doutor em Engenharia, Professor Assistente, Doutor do Departamento de Engenharia Mecânica UNICAMP.
- (4) Membro da ABM, Eng. Metalurgista, Doutor em Engenharia Metalúrgica, Professor Assistente do Departamento de Engenharia Metalúrgica - EPUSP.

## 1. INTRODUÇÃO

Os ferros fundidos brancos de alto cromo são utilizados em aplicações em que se requer alta resistência ao desgaste aliada à tenacidade exigida em operações de cominuição sob altos esforços. Essa combinação de propriedades é geralmente obtida por t $\dot{e}$ mpera ao ar de materiais austenitizados em temperaturas entre 950 e 1150°C, e que cont $\dot{e}$ m uma mistura de carbonetos M7C3 e/ou MC eut $\acute{e}$ ticos e matriz martens $\acute{e}$ tica. A austenita retida, de modo geral presente ap $\acute{o}$ s t $\dot{e}$ mpera,  $\acute{e}$  tida como prejudicial uma vez que sua transforma $\acute{c}$ o em servi $\acute{c}$ io leva ao lascamento do material (1).

Apesar da tenacidade ser um requisito importante e a presen $\acute{c}$ a de austenita retida ser prejudicial,  $\acute{e}$  pequeno o n $\acute{u}$ mero de trabalhos que tratam da influ $\acute{e}$ ncia da austenita retida no desgaste desses materiais (2,3).

## 2. MATERIAIS E M $\acute{E}$ TODOS

Elabora $\acute{c}$ o das ligas - Foram fundidas duas ligas com teores aproximadamente constantes de cromo e carbono uma com teor de mang $\acute{a}$  n $\acute{e}$ s de 0,6% e outra com 6,5% de van $\acute{a}$ dio. As an $\acute{a}$ lises qu $\acute{e}$ micas encontram-se na tabela I.

Tabela I - Resultados das an $\acute{a}$ lises qu $\acute{e}$ micas

Liga	%C	%Cr	%Mn	%V	%Si
0,6Mn	2,09	12,7	0,56	--	0,60
6V	2,26	12,0	0,82	6,5	0,83

Nas duas s $\acute{e}$ ries de experi $\acute{e}$ ncias o banho met $\acute{a}$ lico era superaquecido a 1500°C. O metal era transferido para pain $\acute{e}$ l $\acute{e}$ s pr $\acute{e}$ -aquecidas e vazado entre 1450 e 1560°C.

Em cada uma das s $\acute{e}$ ries foram fundidos corpos de prova cil $\acute{u}$ ndricos com 120mm de altura e 25mm de di $\acute{a}$ metro, convenientemente massalotados de modo a se prevenir defeitos de fundi $\acute{c}$ o.

Cada corpo de prova era seccionado removendo, a partir da base, um tronco de cilindro de 30mm de altura. Este era tratado termicamente e a seguir novamente seccionado transversalmente, removendo-se uma "bolacha para exame metalogr $\acute{a}$ fico e um novo tronco de cilindro de 25mm de altura. Deste, era usinada por eletroeros $\acute{a}$ o, uma amostra cil $\acute{u}$ ndrica de 6mm de di $\acute{a}$ metro e 20mm de altura para ensaios de desgaste.

Amostras das duas ligas foram austenitizadas a 950; 1050 e 1150°C por 3 horas e temperadas em  $\acute{o}$ leo.

Foi efetuada metalografia  $\acute{o}$ tica, eletr $\acute{o}$ nica de varredura e difra $\acute{c}$ o de raios X.

Metalografia  $\acute{o}$ tica e Eletr $\acute{o}$ nica de Varredura - As amostras foram embutidas em resina de poli $\acute{e}$ ster e lixadas at $\acute{e}$  grana 600. A seguir foram polidas mecanicamente com pasta de diamante at $\acute{e}$  1 micron. Nas amostras destinadas a microscopia eletr $\acute{o}$ nica de varredura efetuava-se um polimento adicional com diamante 0,25 microns. Em ambos os casos o ataque da superf $\acute{e}$ cie era feito com reativo de Vilela (5 ml HCl, 1g  $\acute{a}$ cido p $\acute{i}$ crico em 100ml de  $\acute{a}$ lcool et $\acute{i}$ lico). Este ataque delinea nitidamente os carbonetos eut $\acute{e}$ ticos e secund $\acute{a}$ rios, n $\acute{a}$ o ataca a austenita al $\acute{e}$ m de permitir a identifica $\acute{c}$ o da perlita e martensita.

Os exames de metalografia  $\acute{o}$ tica foram efetuados em banco metalogr $\acute{a}$ fico Zeiss-Jena modelo Nophot 30. Os exames de microscopia eletr $\acute{o}$ nica de varredura foram efetuados em microsc $\acute{o}$ pio Jeol modelo JSM 840.

Metalografia Quantitativa - A determinação das frações volumétricas de microconstituintes foi feita através de contagens de pontos em grade de 25 pontos efetuando-se 15 contagens por amostra, segundo a norma ASTM E-562-76 (4).

Difração de Raios X - Foi efetuada difração de raios X com radiação  $M\alpha_1$  com os objetivos de determinar as fases presentes bem como a fração volumétrica de austenita retida. Em função da relatada anisotropia desta fase (5) foram efetuadas três determinações de austenita retida em cada amostra de modo a diminuir a dispersão dos resultados (6). Para o cálculo da porcentagem de austenita retida foi utilizado um programa integrador com as devidas correções (7).

Dureza - Foram efetuadas medidas de dureza Vickers com carga de 50 kg. Os valores de dureza apresentados são média de cinco de terminações.

Ensaio de Desgaste - O ensaio de desgaste efetuado foi o teste de pino "pin test". A versão do ensaio empregada foi a devida a Fischer e Berns (8), na qual um pino do material a ser ensaiado é simultaneamente rodado e transladado contra uma lixa de determinado material abrasivo, de modo que o desgaste da superfície é devido principalmente ao movimento de rotação do pino. Os abrasivos utilizados foram SiC e flint de grana 80.

A figura 1 ilustra o funcionamento do teste. Os resultados são apresentados na forma de taxa de desgaste calculada segundo a fórmula 1 e são média de três determinações.

$$\dot{w} = m / (x A_o \rho) \quad (1)$$

Onde  $\dot{w}$  = taxa de desgaste

x = distâncias percorrida do pino contra o abrasivo

$\rho$  = densidade do material testado

$A_o$  = área de contato aparente

m = perda de massa

Ensaio de Riscamento - Neste ensaio efetuou-se o riscamento de amostras preparadas metalograficamente e atacadas com uma ponta de diamante, carga de 25g e velocidade de deslocamento 1,8 m/s. A figura 2 mostra o esquema de funcionamento do ensaio.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela II mostra as taxas de desgaste, a dureza e a porcentagem de austenita retida para as ligas 0,6Mn e 6V, temperadas de 950; 1050 e 1150°C.

Tabela II - % Austenita, Dureza e Taxa de Desgaste em função da temperatura de austenitização.

.T austenitização(°C)	950		1050		1150		
	6V	0,6Mn	6V	0,6Mn	6V	0,6Mn	
Taxa de Desgaste $\times 10^{-5}$	flint	2.95	0.94	1.94	0.74	0.95	0.56
	SiC	5.23	3.72	5.07	3.15	3.55	2.52
Dureza HV50	635	777	696	561	610	429	
% Austenita Retida	5	11	6	54	33	97	

A elevação da temperatura de austenitização promoveu um aumento de porcentagem de austenita retida e de modo geral, queda da dureza Vickers.

A liga 0,6Mn apresentou microestrutura constituída de rede de carbonetos eutéticos M7C3 (1100-1300 HV) e matrizes predominantemente martensíticas ou austeníticas dependendo da temperatura de austenitização. A figura 3 mostra a microestrutura desta liga tem-

perada de 950°C.

A liga 6V apresentou microestrutura constituída de rede de carbonetos eutéticos M7C3 e carbonetos eutéticos tipo MC, de maior dureza (HV 2200), distribuídos em uma matriz martensítico-austenítica dependendo da temperatura de austenitização. A figura 4 mostra a microestrutura desta liga temperada de 1150°C.

A figura 5 mostra a variação da taxa de desgaste em função da temperatura de austenitização para as ligas 0,6Mn e 6V ensaiadas no SiC e no flint. Observa-se que em todas as condições estudadas as taxas de desgaste diminuem com o aumento da temperatura de austenitização, apesar de a dureza cair com o aumento desta temperatura. Este resultado vai contra o senso comum (9) e aos conhecidos resultados de Kruschov (10) conforme a figura 6. Entretanto, estes resultados estão em concordância com trabalhos de Rojahn e Berns (2) e Zum-Gahr (3).

A figura 7 mostra a variação da taxa de desgaste em função da porcentagem de austenita retida na matriz. Neste gráfico foram incluídos os resultados obtidos com outros ferros fundidos brancos com composições químicas próximas às aqui estudadas (11).

Nota-se que a taxa de desgaste é função inversa da porcentagem de austenita retida na estrutura e praticamente independente do tipo de carboneto presente na microestrutura. De fato a liga 0,6Mn contém 18% de M7C3 enquanto que a liga 6V contém 10% de M7C3 e 8% de carbonetos tipo MC.

Este comportamento pode ser explicado pela predominância do microcorte em matrizes com teores mais elevados de austenita retida, enquanto que no caso dos materiais martensíticos predomina o microcorte, conforme classificação de Zum-Gahr (3), como indicado na figura 8.

Pode-se dizer que a maior tenacidade da austenita faz com que,

ao se deformar durante a passagem de uma partícula de abrasivo, ela absorva energia devido a alta taxa de encruamento, apresentando menor quantidade de microtrincas e faces de fratura do que as ligas com matrizes predominantemente martensíticas.

A análise de superfície do pino ensaiada (figura 9) no microscópio eletrônico de varredura mostrou que nas ligas com maior teor de austenita retida havia menor quantidade de trincas e faces de fratura associadas a passagem de partículas abrasivas como ilustram as figuras 10 e 11.

Estas evidências ficam mais claras ao se observar o comportamento mecânico da microestrutura no ensaio de riscamento simples (12), como mostram as figuras 12 e 13.

O melhor comportamento das matrizes austeníticas no teste do pino sugere que se analise o desempenho de materiais com esta estrutura em serviço o que é atualmente objeto de pesquisa em andamento.

#### 4. CONCLUSÕES

1) No ensaio do pino de ferros fundidos brancos de alto cromo com composições químicas diferentes, a taxa de desgaste foi determinada pela porcentagem de austenita retida na matriz metálica.

2) Em ferros fundidos brancos com matrizes austenítico-martensíticas a taxa de desgaste varia inversamente com o aumento da dureza.



## BIBLIOGRAFIA

- (1) MORTON, P.A.; GUNDLACH, R.B. & DODD, J. - "Factors Affecting Austenite Measurements in High-Chromium White Cast Irons" - AFS Transactions, vol. 140, pag. 979, 1985
- (2) TROJAHN, W. & BERNIS, H. - "Gefüge und Eigenschaften Ledeburitischer Chromstähle mit Niob und Titan". VDI Verlag, 1985, Düsseldorf.
- (3) Zum-Gahr, K.H. - "Microstructure and Wear of Metals" Elsevier, 1987.
- (4) ASTM Standards - "Determining Volume Fraction by Sistematic Manual Point Count". Vol.II, 1982, p.534
- (5) MARATRAY, F. & POULATON, A. - "Evaluation de la Quantite d'Austenite non Transformee". Colloque du Cercle d'Etude des Metaux, nov. 1977, Saint-Etienne, France, 17 pag.
- (6) PADILHA, A.F. & AMBROZIO FILHO, F. - "Técnicas de Análise Microestrutural" - Ed. Hemus, São Paulo, 1985.
- (7) PADILHA, A. F. - Comunicação Pessoal
- (8) BLICKENSERFER, R. & LAIRD II, G. - "A Pin-on-Drum Abrasive Wear Test and Comparison with Other Pin Tests" Journal of Testing and Evaluation . Vol. 16, n.6, nov. 1988, p.516.
- (9) "Guide to select Engineered Materials". Número especial de Advanced Materials and Process, Jan. 1988, p.75
- (10) KRUCHOV, M.M. - "Principles of Abrasive Wear". Wear, 28,1974, p.69.
- (11) TSCHIPTSCHIN, A.P. & SINATORA, A. - Relatório, internos EPUSP.
- (12) ZUM-GAHR, K.H. & MEWES, D. - "Severity of materials removal in abrasive wear of ductile metals". in Wear of Materials, 1983 Ludema K.C. ed. ASNE, New York, 1983, p.130.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Prof. Dr. Michael Pohl pela utilização dos equipamentos e pela hospitalidade na Universidade de Ruhr, Bochum, RFA.

Agradecem ainda ao Serviço Alemão de Intercâmbio Acadêmico - (DAAD-Deutscher Akademischer Austauschdienst) pelo financiamento do projeto MF-16 (Micromecanismos de Desgaste) dentro do Programa Brasil do Stifterverband fuer die Deutsche Wissenschaft (APT).

Ao CNPq pelo custeio, processo nº 412270/88 (APT).

Ao CAPES pela bolsa concedida, processo nº 412271/88.5 (AS).

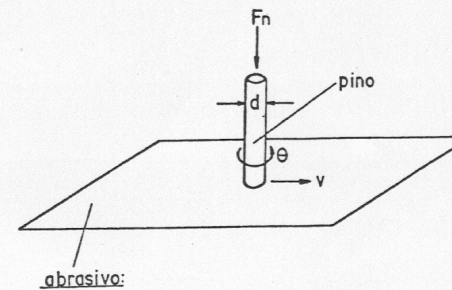


Figura 1 - Ensaio do pino (Pin-Test), esquemático

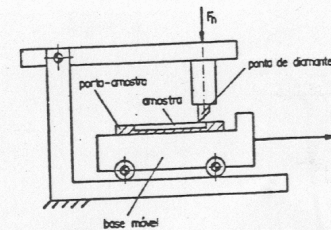


Figura 2 - Representação esquemática do ensaio do risco.

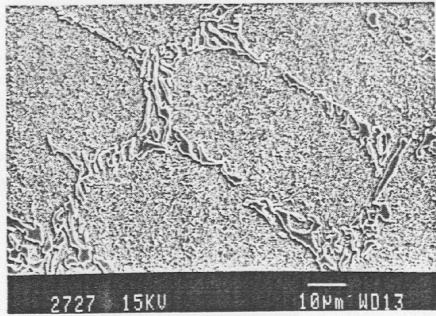


Figura 3 - Amostra temperada de 950°C, 0,6Mn, carbonetos eutéticos M7C3, carbonetos secundários e martensita. Vilella. MEV.

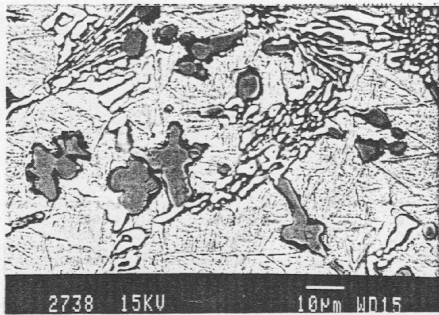


Figura 4 - Amostra temperada de 1150°C, 6V, carbonetos eutéticos M7C3 e MC, martensita e austenita retida. Vilella.ERE.

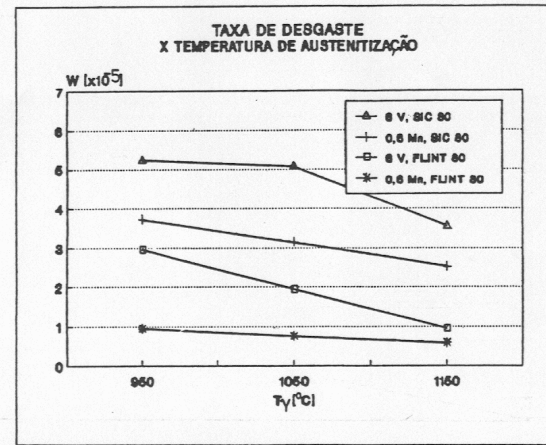


Figura 5 - Taxa de desgaste em função da temperatura de austenitização. Ligas 0,6Mn e 6V.

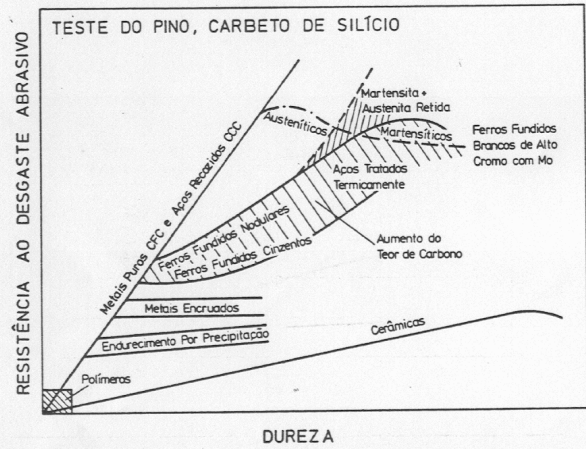


Figura 6 - Resistência ao desgaste em função da dureza para diversos materiais

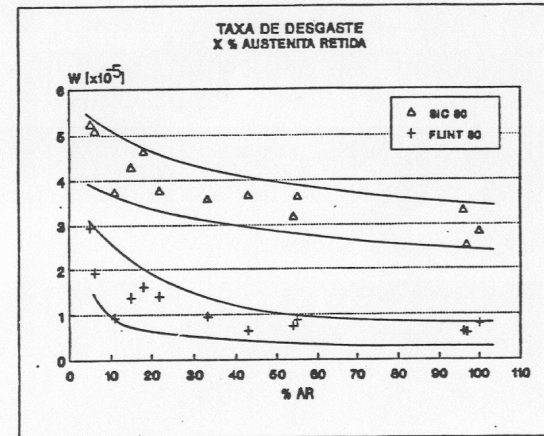


Figura 7 - Taxa de desgaste em função da porcentagem de austenita retida. Ligas com 0,6; 1,1 e 1,8%Mn e 6,5 e 9%V.

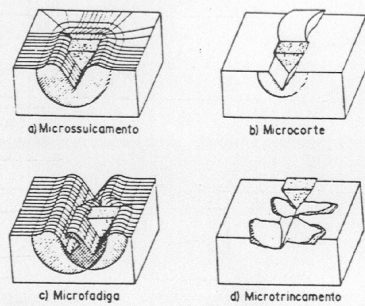


Figura 8 - Modos de interação entre partícula abrasiva e superfície dos materiais (3).

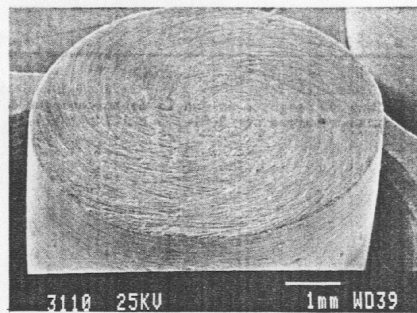


Figura 9 - Aspecto da superfície do pino após ensaio.

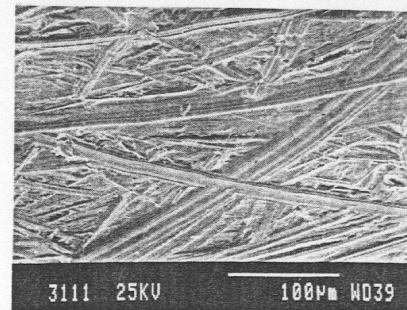


Figura 10 - Superfície desgastada, matriz austenítica (97%), 0,6Mn. MEV.

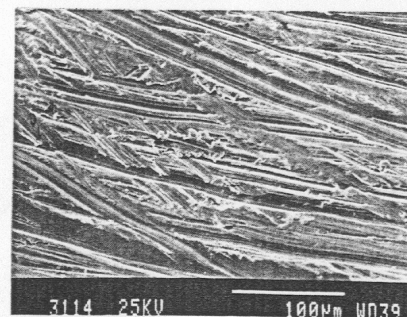


Figura 11 - Superfície desgastada, matriz predominantemente martensítica (11% austenita retida), 0,6Mn. MEV.



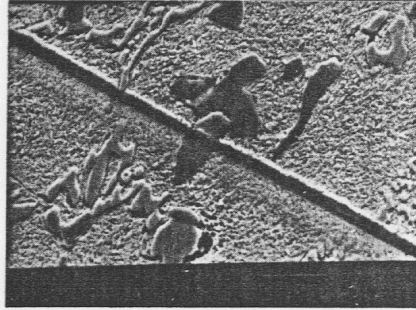


Figura 12 - Ensaio de riscamento, matriz predominantemente martensítica (5% austenita retida), 6V, Vilella. MEV.

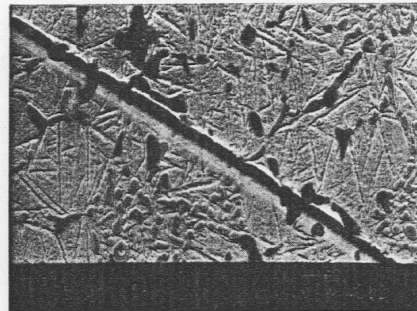


Figura 13 - Ensaio de riscamento. Liga 6V com 33% austenita retida. Vilella. MEV.