

# Microestrutura dos FoFo brancos de alto cromo

Os autores estudaram os efeitos de três teores de carbono e da adição de 1,5% de molibidênio na estrutura de solidificação de ferros fundidos brancos com 15% de cromo, determinando as variações das frações volumétricas de austenita primária e de carbonetos eutéticos, o número de partículas de carbonetos por unidade de comprimento de linha e o espaçamento médio entre braços secundários de dendritas. Uma análise térmica determinou temperaturas de patamares de formação da austenita primária e do eutético e revelou que a elevação do teor de C e a adição de Mo provocaram diminuição da temperatura do patamar de formação do eutético e engrossamento das partículas de carbonetos.

\* Amilton Simôra, Francisco Ambrósio Filho, Hélio Guldenstein, Ricardo Fuoco, Eduardo Albertin e Paulo Roberto Mei.

Os ferros fundidos brancos com alto teor de cromo são empregados nas indústrias de mineração, cimento, cerâmica e outras devido a sua alta resistência ao desgaste abrasivo e a relativa tenacidade. Estas propriedades são determinadas em grande parte pela microestrutura e pela composição química do material.

Os teores de cromo e carbono determinam o tipo e a quantidade de carbonetos formados. Maiores quantidades destes elementos levam à formação de maiores frações volumétricas de carbonetos. Teores de cromo superiores a 10% levam à formação de carbonetos do tipo  $M_7C_3$ , com melhorias significativas na tenacidade e dureza do material, em relação aos ferros fundidos de baixos teores de cromo, que apresentam carbonetos do tipo  $M_3C$ .

A fração volumétrica de carbonetos formados na solidificação influencia a resistência ao desgaste abrasivo. Segundo Zum Gahr, em "Abrasive Wear of White Cast Irons", o aumento da fração volumétrica de carbonetos leva a uma progressiva melhora da resistência ao desgaste com um máximo próximo de 30%, em volume, de carbonetos. Esses resultados foram obtidos em ensaios de "roda de borraça" e do "pino", tanto para matrizes martensíticas como para matrizes austeníticas.

Esse efeito seria devido à crescente proteção da matriz metálica, pelos carbonetos, até cerca de 30% em volume; a partir deste ponto passaria a predominar a fragilidade intrínseca dos carbone-

tos, levando à diminuição da resistência ao desgaste.

Freqüentemente especificam-se para esses materiais matrizes martensíticas. Para se obter a necessária temperabilidade nas seções espessas usualmente encontradas nas suas aplicações típicas, requerem-se elevados teores de cromo dissolvido na matriz, bem com adições de elementos de liga, sendo o molibidênio o de mais amplo emprego.

A importância do molibidênio na temperabilidade fez com que a maior parte dos trabalhos encontrados na literatura técnica se voltasse ao estudo desse efeito, relegando para segundo plano seu efeito na solidificação.

Este trabalho visa estudar o efeito do carbono e do molibidênio, na estrutura de solidificação de ferros fundidos com 15% de cromo, bem como medir estes efeitos através de metalografia quantitativa.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foi elaborada uma liga base contendo

Tab. 1 - Composições químicas usadas

Ligas	% Cr	% C	% Mo
15 - 2,3 - 0	15	2,3	0
15 - 2,3 - 1,5	15	2,3	1,5
15 - 3,0 - 0	15	3,0	0
15 - 3,0 - 1,5	15	3,0	1,5
15 - 3,6 - 0	15	3,6	0
15 - 3,6 - 1,5	15	3,6	1,5

15% Cr e 2,3% C, e a partir dela foram feitas refusões para ajustes de composição química, de acordo com a tabela 1.

Para a preparação das ligas utilizou-se sucata de aço para estampagem, ferro cromo, baixo carbono, cromo metálico, ferro molibidênio e grafite.

A liga base foi elaborada em forno de indução de 1000 Hz, utilizando cadinho de 250 Kg com revestimento refratário a base de magnésio.

As refusões foram feitas em forno de indução de 3000 Hz em cadinho de carbeto de silício, com capacidade de 2 Kg, superaquecendo-se a 1500°C.

Utilizaram-se como corpos-de-prova copos para análise térmica, fornecidos pela Ecl S.A., feitos pelo processo shell molding, com 30 mm de diâmetro interno e aproximadamente 50 mm de altura, com um temporar de cromel-alumel disposto verticalmente.

Os vazamentos foram feitos diretamente do cadinho de carbeto de silício, de maneira a permitir um bom controle da temperatura de vazamento, que foi mantido sempre entre 1450-1460°C.

As curvas de resfriamento foram obtidas em registrador do tipo Leeds Northrup, com escala entre 1100 e 1400°C.

Para a análise metalográfica foram empregadas amostras obtidas da seção transversal dos copos logo acima da ponta do temporar, como forma de se obter a melhor correlação entre microestrutura e análise térmica.

A determinação das frações volumétricas de microconstituintes foi feita através de contagens em grade de 25 pon-

Tab. 1  
temperatura  
(T<sub>1</sub>)

15  
15  
15

tos, amostrados E-56; carbeto realizou 0,314 de t alinh. cipal

Os carbeto e me 51, ( situ a 161 nas l 0,3%

Análise most bonc ponc ria l' tético cimo à me do e situ a que Jour

(\*) Os autores são, respectivamente, da Unicamp/Inesp, EPUISP, IPEN, EPUISP, EPUISP, IPTSP, e Unicamp. O título original deste trabalho é "Efeito do carbono e do molibidênio na microestrutura dos ferros fundidos brancos de alto cromo".

Tab. 2 - Percentagem de carbono analisado e temperatura de patamar da formação da austenita ( $T_{\gamma}$ ) e do eutético ( $T_E$ ), para as ligas sem molibdênio

Ligas	% C Analisado	$T_{\gamma}$ (°C)	$T_E$ (°C)
15 - 2,3 - 0	2,26	1321	1253
15 - 3,0 - 0	2,94	1281	1238
15 - 3,6 - 0	3,52		1229

tos, efetuando-se 30 contagens por amostra, segundo a norma ASTM-E-562-76. A contagem do número de carbonetos por comprimento de linha foi realizada utilizando-se um círculo de 0,314 mm de perímetro, o espaçamento de braços da dendrita foi medido alinhando-se uma escala com eixo principal das dendritas.

#### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises químicas de carbono são apresentados conjuntamente com os resultados de análise térmica e metalografia quantitativa (tabelas 2 a 5). Os teores dos demais elementos situam-se nas seguintes faixas: como 15 a 16%; molibdênio 1,5 a 1,6% (± 0,06% nas ligas sem adição); manganês 0,2 a 0,3% silício 0,1 a 0,3%.

#### Ligas sem molibdênio

Análise térmica - A tabela 2 e a figura 1 mostram o efeito da percentagem de carbono na temperatura do patamar correspondente à formação da austenita primária ( $T_{\gamma}$ ) e na temperatura da reação eutética ( $T_E$ ). Observa-se um nítido decréscimo da temperatura do primeiro patamar à medida que a composição se aproxima do eutético. Esta maior proximidade do eutético pode ser verificada na figura 2, a que se refere Jackson em um artigo do Journal of the Iron and Steel Institute.

Estes resultados mostram, ainda, que ocorreu um decréscimo na temperatura da reação eutética com o aumento da percentagem de carbono. Isto se deve aos diferentes caminhos de solidificação, como se vê na figura 2, pois a calha eutética monovariante é atingida em temperaturas cada vez menores à medida que se aumenta a percentagem de carbono.

Com os valores determinados para as temperaturas dos patamares eutéticos, pode-se traçar, esquematicamente, os caminhos de solidificação, apresentados

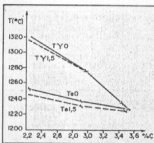


Fig. 1 - Temperatura de patamar de formação de austenita ( $T_{\gamma}$ ) e do eutético ( $T_E$ ) em função do teor de carbono, ligas sem molibdênio e com 1,5% Mo.

Tab. 3 - Resultados de metalografia quantitativa para as ligas sem molibdênio

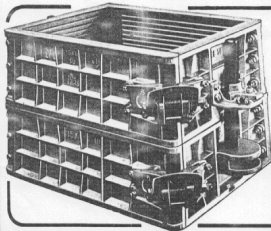
Ligas	$V_{\gamma}$	$V_{\gamma k}$	$N_{Lr}$	$N_{LE}$	$E_{D}(\mu m)$
15 - 2,3 - 0	58,7	16,1	75,1	181,7	23,5
15 - 3,0 - 0	41,7	25,2	82,2	141,3	15,4
15 - 3,6 - 0	0	28,6	84,6	84,6	

na figura 2 como linhas pontilhadas.

No caso da liga eutética (3,5%C) observou-se recrescimento na curva de resfriamento. A temperatura apresentada na tabela 2 refere-se à maior temperatura atingida durante a recalqueção. Metalografia quantitativa - Fração volumétrica de austenita ( $V_{\gamma}$ ) e fração volumétrica de carbonetos eutéticos ( $V_{\gamma k}$ ). A tabela 3 e a figura 3 mostram que à fração volumétrica de austenita diminuiu com o aumento do teor de carbono. Este fato também é consequência da crescente proximidade da calha eutética monovariante para teores crescentes de carbono. A diminuição da fração volumétrica de austenita primária foi muito mais intensa quando se variou o teor de carbono de 2,9 para 3,6% do que de 2,2 para 2,9%. Quantitativamente, entre 2,2 e 2,9% de carbono a taxa média de diminuição da quantidade de austenita foi de 24% por 1% de carbono, passando para 68% por 1% de carbono no intervalo compreendido entre 2,9 e 3,5%. Isto se deve aos diferentes caminhos de solidificação e também à maior inclinação da superfície "líquidos" à medida que a composição da liga fica mais próxima do eutético.

A tabela 3 e figura 4 mostram que o aumento da percentagem de carbono leva ao aumento da fração volumétrica de carbonetos eutéticos, um resultado que é semelhante ao obtido por diversos autores (Zum-Gahr, Maratray e Bartel).

m  
o-  
l-  
se  
ro-  
sa,  
  
de  
ro  
so  
  
de  
arg-  
g.  
  
va  
os  
all  
er-  
tural  
  
te-  
cio,  
ola  
foi  
-  
sti-  
th-  
C-  
im-  
ção  
on-  
ter-  
ita-  
  
né-  
tra-  
on-



## CAIXAS PARA FUNDIÇÃO

em alumínio fundido, expansiva,  
para sistema squeeze

Faça como a maioria das fundições brasileiras.  
Adquira as caixas Jaguaré, que há 15 anos desen-  
volve o melhor produto ao menor custo.

consulte-nos  
fone 869-5033

telex (11) 80478 MFJL-BR  
MODELAGEM E FUNDIÇÃO JAGUARÉ  
INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA.  
Av. Miguel Frias de Vasconcelos, 87  
Cassa - 05346 - São Paulo



relações empíricas entre a composição química e a fração volumétrica de carbonetos. Maratray obtve as seguintes equações, utilizando metalografia quantitativa automática e por contagem visual, respectivamente:

$$V_{VK} = 12,33 (\%C) + 0,55 (\%Cr) - 15,2 \quad (1)$$

$$V_{VK} = 11,3 (\%C) + 0,5 (\%Cr) - 13,4 \quad (2)$$

Os valores de frações volumétricas de carbonetos medidos no presente trabalho são todos menores do que os previstos pelas equações de Maratray. Entretanto, o mesmo acontece com os resultados dos trabalhos de Bartel e Zum-Gahr, sendo que, dos resultados apresentados por este último autor, é possível se obter por regressão linear a equação:

$$V_{VK} = 9,6 (\%C) + 0,9 (\%Cr) - 16,7 \quad (3)$$

com um erro padrão de 2,2. Com esta equação pode-se calcular as frações volumétricas de 18,4; 25,0 e 30,4% para as composições de 2,2; 2,9 e 3,5% de carbono utilizado neste trabalho, para as quais se mediram experimentalmente 16,1; 25,2 e 28,6% de carbonetos, respectivamente, valores bem próximos dos previstos pela equação 3.

As diferenças nas frações volumétricas de carbonetos medidas pelos diver-

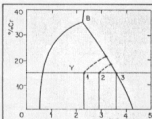


Fig. 2 - Superfície líquida do sistema Fe-Cr-C mostrando esquematicamente o caminho da solidificação das ligas contendo 15% de Cromo e 2,2% C(1), 2,9% C(2) e 3,5% C(3).

sos autores, inclusive deste trabalho, em relação às previstas por Maratray, podem ser devidas às diferentes técnicas de medida empregadas e, principalmente, ao fato de este autor ter empregado, para a obtenção das equações 1 e 2, ligas dentro de um campo muito vasto de composições.

**Metalografia quantitativa - Número de carbonetos eutéticos ( $N_{E1}$ )** - Os resultados relativos aos números de carbonetos encontram-se na tabela 3 e na figura 5. Nota-se que há o aumento do número de carbonetos por comprimento de

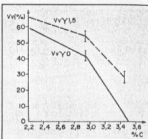


Fig. 3 - Fração volumétrica de austenita pró-eutética ( $V_{V1}$ ) em função do teor de carbono; ligas sem moldabilidade e com 1,5% Mn.

linha no volume total da amostra ( $N_{E1}$ ), à medida que aumenta a porcentagem de carbono. Este resultado é consequência direta da diminuição da fração volumétrica de austenita primária à medida que a composição se aproxima da linha eutética.

Com o objetivo de verificar o efeito do carbono na estrutura de solidificação do eutético, independentemente da fração volumétrica de austenita primária, calculou-se o número de carbonetos por unidade de linha no volume eutético ( $N_{E1}$ ), ou seja, descontou-se do comprimento total de linha a parcela correspondente à fração volumétrica de austenita primária. Desta maneira o valor  $N_{E1}$  corresponde a

$$N_{E1} / (1 - V_{V1})$$

Verificou-se na tabela 3 que o aumento da porcentagem de carbono levou a um pronunciado decréscimo do número de partículas por unidade de linha no volume eutético ( $N_{E1}$ ), ou seja, houve um enriquecimento dos carbonetos eutéticos. Este efeito é evidenciado nas micrografias da figura 4. Fenômeno análogo ocorre nos ferros fundidos cinzentos onde, em ligas bastante hipoeutéticas, ocorre a formação de grafita muito ramificada (tipos D e E) e o aumento do carbono equivalente leva à formação de grafita tipo A, mais grosseira, mantidas constantes as condições do banho e de resfriamento.

A análise microestrutural das ligas mostra três fatores que contribuem para a diminuição de  $N_{E1}$  com o aumento do teor de carbono:

- Os carbonetos ficam mais longos quando se passa da liga 2,2 para a liga com 2,9% de carbono.

- Os carbonetos ficam mais espessos à medida que aumenta a distância em relação ao centro de uma mesma célula eutética; este enriquecimento é maior para a liga com 2,9% de carbono do que para a liga com 2,2%.

## USE SILICATO DE SÓDIO "MEIA LUA" \*

### Para melhores resultados em:

- Produção de moldes e machos por processos CO<sub>2</sub> para fundição, com tipo normal e de relação SiO<sub>2</sub> : Na<sub>2</sub>O mais alta.
- Endurecimento de moldes em processos com ácidos e ésteres orgânicos.

- Vedação de porosidade de peças fundidas.
- Proteção contra oxidação de peças ferrosas armazenadas.
- Usos como agente desengraxante em processos de anodização.
- Limpeza de pisos industriais, com o aproveitamento de suas propriedades desengraxantes.

Consultem-nos para maiores informações



**ICI  
Brasil  
S.A.**

**AGENTES NAS PRINCIPAIS  
FRAÇÕES DO PAÍS**

\* MARCA REGISTRADA

**MATRIZ:**  
São Paulo (SP) - Rua Vinte Dezeto, 1566  
CEP 04144 - Fone: 5024 - Saco Amaro  
Tel. (011) 255-2322

Tlx. (011) 24 225-03 806

**FILIAIS:**  
Rio de Janeiro (RJ) - Av. Henrique  
Velazquez, 23 - 2º And. - Cj. 201/202  
CEP 20231 - C.P. 963

Tel. (021) 251-3022

Belo Horizonte (MG) - Av. Rio Formoso, 1023

CEP 30000 - Bairro Pato

Tel. (031) 222-5580

Porto Alegre (RS) - Trav. São João, 530

CEP 90000 - Navigantes

Tel. (051) 42-5200 - Tlx. (051) 2957

## FUNDAÇÃO V

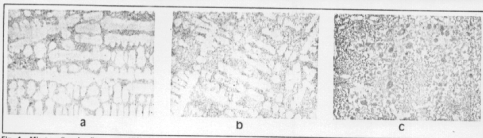


Fig. 4 - Micrografias das ligas com 15% de cromo, isentas de molibdênio: a) 2,2% C; b) 2,9% C; c) 3,5% C

cl Aparecem com muito mais frequência carbonetos hexagonais e grosseiros na periferia das células eutéticas, para os teores de carbono mais elevados; estes carbonetos são bem maiores na liga eutética.

Os esquemas da figura 6 e as micrografias da figura 4 ilustram estas observações.

O maior comprimento dos carbonetos eutéticos na liga com 2,9% de carbono, em relação à liga com 2,2%, pode dever-se simplesmente a uma menor restrição ao crescimento devido à diminuição da fração volumétrica de carbono, conforme sugere Bartel.

O espessamento dos carbonetos à medida que aumenta a distância em relação

ao centro das células eutéticas, bem como a formação de carbonetos hexagonais na periferia destas, pode ser consequência da mudança da composição do carboneto formado, uma vez que a solidificação do líquido eutético se dá com um progressivo empobrecimento em cromo e enriquecimento em carbono, o que pode ser visto acompanhando-se a linha eutética na figura 2.

Uma outra explicação para o espessamento dos carbonetos é que o avanço da reação eutética na temperatura do patamar obtido na curva de resfriamento implica a diminuição do super-resfriamento em relação à temperatura de equilíbrio, uma vez que esta temperatura diminui à medida que a solidificação progride.

Na liga eutética, o engrossamento da estrutura (diminuição do  $N_{Eg}$ ) em relação às ligas hipoeutéticas deveu-se principalmente à alteração de morfologia do eutético, verificando-se predominância dos carbonetos com seção hexagonal. *Metalografia quantitativa - Espaçamento dos braços secundários de dendritas ( $E_{Eg}$ )* - O espaçamento entre braços secundários de dendritas ( $E_{Eg}$ ) diminuiu com o aumento do teor de carbono de 2,2 para 2,9% (tabela 3).

Mondolfo, estudando ligas Al-Cu, verificou também o refinamento das dendritas com a aproximação da composição eutética.

Uma possível causa para este comportamento seria o coalescimento de braços

## TÃO IMPORTANTE QUANTO A FORÇA QUE A FALK TRANSMITE COM SEUS EQUIPAMENTOS É A QUALIDADE QUE ELA TRANSMITE COM SUA TECNOLOGIA.



Redutor tipo Y - eixos paralelos

Potência máxima: 10.000 HP  
Relações de redução: 1:1,84 a 1:291,9  
Torque máximo de saída: 31.270 mkgf



Redutor tipo YB - eixos em ângulo reto horizontal

Potência máxima: 2.500 HP  
Relações de redução: 1:5,06 a 1:1.207  
Torque máximo de saída: 26.000 mkgf



Redutor tipo YBX - eixos em ângulo reto saída na vertical

Potência máxima: 2.500 HP  
Relações de redução: 1:5,06 a 1:194,6  
Torque máximo de saída: 26.000 mkgf



Redutor tipo FC - eixos concêntricos

Potência máxima: 1.120 HP  
Relações de redução: 1:1,50 a 1:1.207  
Torque máximo de saída: 3.600 mkgf



Redutor tipo JR - eixo oco horizontal

Potência máxima: 200 HP  
Relações de redução: 1:5 a 1:25  
Torque máximo de saída: 2.640 mkgf



Sistema de Acionamento Hidráulico Variável

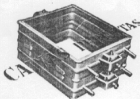
Potência máxima: 100 HP  
Rotação máxima de entrada: 3.500 rpm  
Torque máximo de saída: 50 mkgf (motor hidráulico)

Existem outros tipos de redutores, padronizados para diferentes aplicações industriais, e transmissões especialmente projetadas para aplicações com características específicas.

Josef Martins Coelho, 300 - CEP 04461 - Santo Amaro - caixa postal 6064 - tel. 548-4011 - telex (011)3155034672 - São Paulo - SP

**FALK**

## VIDIAMAN



- Caixas de moldar
- Pinos
- Buchas
- Transportadores de roletes
- Caldeiraria e usinagem em geral

### VIDIAMAN

Equipamentos para fundição Ltda  
Rua Padre Calestino, 445  
CEP 07000 - Guarulhos SP  
Fone: (011) 913-1000

## BENTONITA

NACIONAL E IMPORTADA

GARANTIA DE  
QUALIDADE E  
PONTUALIDADE NO  
FORNECIMENTO

CONGEL - Comércio  
de Minerais Ltda.

Rua Diamante Preto, 296  
CEP 03405 - Tatuapé  
São Paulo - SP  
Tels.: (011) 217-5154/  
294-7791/295-7268

## FUNDIÇÃO V

Tab. 4 - Resultados das análises térmicas - ligas com 1,5% Mo

Ligas	% Análizado	T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)
15-2.3-1.5	2,2	1317	1248
15-3.0-1.5	2,9	1281	1232
15-3.6-1.5	3,4	1231	1224

O efeito da fração volumétrica de carbonos na resistência ao desgaste dos ferros fundidos brancos com altos teores de cromo levou a que se buscassem de dendritas devido ao maior intervalo de solidificação, no caso da liga de menor teor de carbono (Flemings).

### Ligas com 1,5% de molibdênio

De modo geral, todos os resultados obtidos nas ligas com 1,5% Mo foram afetados pela adição de carbono da mesma forma que nas ligas sem molibdênio. A medida que o teor de carbono aumentou, ocorreu progressiva diminuição das temperaturas dos patamares de formação da austenita e do eutético, bem como da quantidade de austenita formada, enquanto ocorria aumento na fração volumétrica de carbonetos e diminuição do número de partículas de carbonetos no volume eutético.

**Análise Térmica** - A tabela 4 mostra as temperaturas de patamares de formação da austenita e eutéticos para as ligas com 1,5% Mo, em função da porcentagem de carbono, cujos resultados são evidenciados na figura 1.

A adição de 1,5% Mo levou apenas a um pequeno abaixamento na temperatura do patamar de formação de austenita na liga com 2,2% de carbono, e não se verificou nenhum efeito na liga com 2,9%. Entretanto, observou-se diminuição desta temperatura em ligas com 15% de cromo e 2,2% de carbono, com a adição de 2,5% de molibdênio, bem como em ligas com 20% de cromo e 3,0% de carbono, para adições de 1,0; 1,5; e 2,5% de molibdênio. Jellinghaus também verificou diminuição dessa temperatura. Na figura 1 nota-se que o aumento do teor de molibdênio levou a uma diminuição da temperatura do patamar do eutético, em ligas com o mesmo teor de carbono. Resultado semelhante foi obtido por Matsubara, que verificou o abaixamento nas temperaturas de início e fim de solidificação do eutético, com a adição de Mo a ligas de 15 e 30% de cromo. A alteração das temperaturas de patamares eutéticos e de formação da austenita indica alteração nos caminhos de solidificação da liga com 1,5% de molibdênio em relação às ligas sem molibdênio, conforme sugerido por De Mello.

Tab. 5 - Resultados de metalografia quantitativa para as ligas com 1,5% Mo

Ligas	V <sub>V1</sub>	V <sub>VK</sub>	N <sub>L</sub>	N <sub>Lr</sub>	E <sub>g</sub> (µm)
15-2.3-1.5	66,6	17,0	48,8	141,7	23,6
15-3.0-1.5	54,4	25,4	59,6	130,8	14,3
15-3.6-1.5	27,4	29,3	69,1	95,1	

**Metalografia quantitativa - Fração volumétrica de austenita (V<sub>V1</sub>) e fração volumétrica de carbonetos eutéticos (V<sub>VK</sub>)** - Comparando-se os resultados das tabelas 3 e 5, verifica-se que a adição de 1,5% de molibdênio provocou variações dos valores de N<sub>L</sub>, N<sub>Lr</sub> e V<sub>VK</sub>. Estas variações são evidenciadas nas figuras 3 e 5.

A semelhança dos resultados de Zungahr e Maratray, não se constatou variação da fração volumétrica de carbonetos eutéticos.

Nota-se na figura 3 que a adição de 1,5% de molibdênio promoveu o aumento da quantidade de austenita primária. Este efeito pode ser explicado pelas alterações dos caminhos de solidificação provocadas por este elemento, como já foi dito anteriormente.

A figura 5 evidencia a diminuição do número de partículas de carbonetos no volume total e no volume eutético, provocada pela adição de 1,5% de molibdênio, verificando-se, portanto, que este elemento promoveu o engrossamento dos carbonetos.

Resultado semelhante foi obtido por Matsubara para ligas com 15 e 30% de cromo com a adição de 2,5% de molibdênio.

Estes resultados podem ter sido causados por efeitos cinéticos, do tipo envenenamento de interface de crescimento, provocados pelo molibdênio.

### CONCLUSÕES

O aumento do teor de carbono nas ligas com 15% de cromo levou a:

- Decréscimo das temperaturas dos patamares de formação da austenita e do eutético.
  - Diminuição da fração volumétrica da austenita primária.
  - Aumento da fração volumétrica de carbonetos eutéticos.
  - Engrossamento dos carbonetos eutéticos.
  - Diminuição da distância média entre braços secundários de dendritas de austenita.
- A adição de 1,5% de molibdênio levou a:
- Diminuição das temperaturas dos patamares de formação da austenita e do eutético.
  - Aumento da fração volumétrica de austenita primária.

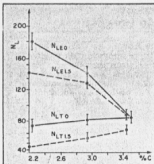


Fig. 6 - Número de partículas de carboneto no volume total  $N_p$  e no volume austenítico  $N_p$  em função do teor de carboneto ligas sem molibdênio e com 1,5% Mo

h) Engrossamento dos carbonetos eutéticos.

#### BIBLIOGRAFIA

Aberlin, E.; Amadori, F.; Fuoco, R.; Goldstein, H. e Sinatoro, A. Ferras Fundidos Brancos Resistentes ao Desgaste Abrasivo. Trabalho apresentado no III CONGRESSO OUTUBRO 1985, São Paulo.  
De Long, K.A. e Hummel, H.A. - Aspectos Práticos e Metalúrgicos de Ferro Fundido Branco Martensítico com Refretoria e sua Aplicação contra o Abrasão. ABM Sistem, 30, 1983, p.21-40.  
Zum-Gahr, K.H. - Abrasive Wear of White Cast Irons. Wear, 64, 1980, p. 175-194.  
Norma ASTM-E-562-72.  
Jackson, R.S. - The Austenite Liquidus Surface and Constitutional Diagram for the Fe-C-C Meta-stable System. Journal of the Iron and Steel Institute, Janeiro 1970, p.163-167.  
Mansray, C. - Choice of Appropriate Compositions for Chromium-Molybdenum White Irons. Transactions of the American Foundrymen Society, 79, 1972, p.121-124.  
Mansray, C.; Poulton, A. e Rabbe, P. - Contribution e Estudo dos Alíages Fe-C-Mo-C". Bulletin du Cercle d'Études des Métaux. Saint Etienne, 1973, p. 11-54.



Fig. 6 - Evolução da morfologia do eutético com o aumento de teor de carboneto (1) 2,2% C; (2) 2,9% C; (3) 3,5% C

Bartel, A., Hoffmeister, H. e Shumann, E. - Einfluss des Gefüges auf die Mechanischen Eigenschaften von Gusseisen Mit et. 3% und 14% Cr für Weizen. Archiv für das Eisenhüttenwesen, 46, 1975, 10, p. 661-666.  
Mansray, L.F., Horvath, J.A. - Dendritic Growth. Acta Metallurgica, 10,1962, p. 1037-1042.  
Flemings, M.C. - Solidification Processing. McGraw-Hill, 1972.  
Jellinghaus, W. - Zur Kinetik des Verstoff Systems Eisen-Chrom-Molybdän-Kohlenstoff". Archiv für das Eisenhüttenwesen, 42, 1972, 2, p.133-142.  
37. Relatório Convênio FINEPRACCT-EPUS/PIPT, Condícios n°s 37.85-0320-00 e 37.85-0321-00. Matsubara, Y., Ogi, K. e Matsuda, K. - Influence of Alloying Elements on the Eutectic Structures of High Chromium Cast Irons. Tetsu to Hagané, 1983, De Melo, J.D.B. - Structures Metalúrgicas e Caracterização da Colação das Fontes Brancas em Chroma. Thèse-Instituto National Polytechnique, Grenoble, 1983.  
Martens, F. e Usseglio-Nomaz, R. - Atlas of Transformations Characteristic of Chromium-Molybdenum White Irons". Climax Molybdenum Co. 1970.  
Este trabalho foi realizado no âmbito dos Condícios EPUS/PIPT número 37.85-0321 e 37.85-0320-00.  
Um dos autores (A.S.) agradece ao CNPq pela Bolsa de Pesquisas número 30.02685/80EAM.  
Os autores agradecem a colaboração de Metalúrgicos: Cláudio G. Shon (EPUS/PI), José Ademir Francisco (IFT), Rubens F. Martini (IFT) e Maria Neiva Oliveira.

## SILBOND® Silicato de Etila



**A opção de alta qualidade para fundição de precisão.**

**Stauffer**  
STAUFFER QUÍMICOS LTDA.  
Produtos Químicos  
Rua Industrial  
Maringá, Av. B'14, Faria Lúcia, 2000 - 131  
CEP 04002 - São Paulo - SP - Tel. (011) 270-9633 (PRAX)

Precisão e alta qualidade. Melhor opção e Silbond® - Silicato de Etila. Na fundição de precisão, o Silbond® é uma fonte líquida de sílica (inertes) repartida como excipientes na moldagem de precisão aglutinante intrínseca, reduzindo a perda líquida, usinagem também apresenta vantagens superiores como ligante para unir materiais refratários e cerâmicos. O produto testado mundialmente. Use Silbond®. Um produto testado e aprovado mundialmente. A Stauffer garante os prazos de entrega e fornece os especialistas e laboratórios à sua disposição.

Serviço de Consultas nº 7106