

# EFEITO DO MOLIBDÊNIO NA MICROESTRUTURA E DUREZA DOS FERROS FUNDIDOS BRANCOS ALTO CROMO TRATADOS TERMICAMENTE EM DIFERENTES TEMPOS A 700°C<sup>1</sup>

*Sandro Mauro de Carvalho*<sup>2</sup>

*Eduardo Albertin*<sup>3</sup>

*Marcelo Camargo Severo de Macedo*<sup>4</sup>

*José Daniel Biasoli de Mello*<sup>5</sup>

*Cherlio Scandian*<sup>6</sup>

## Resumo

Este trabalho tem como objetivo investigar o efeito do molibdênio, do cromo e do tempo de tratamento térmico na dureza e microestrutura de duas ligas hipoeutéticas (20%Cr-2,0%C e 20%Cr-2,0%C-9%Mo) e duas ligas hipereutéticas (32%Cr-3,2%C e 32%Cr-3,2%C-9%Mo). O tratamento térmico foi realizado na temperatura de 700°C em seis tempos diferentes (0, ½, 1, 2, 3, 4 e 5 horas) e o resfriamento foi realizado ao ar. A microestrutura foi caracterizada por microscopia óptica e eletrônica de varredura, além de difração de raios-X. A dureza foi medida em durômetro Vickers (10 kgf). As composições contendo 32% em peso de Cr não mostraram variação de dureza com o tempo de tratamento e, como esperado, a dureza é maior para a liga com 9% de Mo. O efeito do Mo é o mesmo para as ligas com 20% de Cr, porém a dureza varia com o tempo de tratamento, apresentando uma redução a partir de 2 horas, indicando uma mudança microestrutural.

**Palavras-chave:** Tratamento térmico; Ferro fundido branco alto cromo; Molibdênio.

---

<sup>1</sup> Trabalho a ser apresentado no 60º Congresso anual da ABM – Internacional – 25 a 28 de Julho – Belo Horizonte – MG – Brasil.

<sup>2</sup> Mestrando no PPGEM, UFES – ES.

<sup>3</sup> Dr., Instituto de Pesquisas Tecnológicas - SP- Membro da ABM.

<sup>4</sup> Dr., Professor PPGEM/UFES – ES - Membro da ABM.

<sup>5</sup> Dr., Professor LTM/FEMEC/UFU – MG - Membro da ABM.

<sup>6</sup> Dr., Professor PPGEM/UFES – ES - Membro da ABM.

## 1 INTRODUÇÃO

Apesar da quantidade de cromo em muitos ferros fundidos brancos ser alta (12 a 30%), a maior parte deste elemento está combinada com o carbono formando carbonetos complexos. Laird [1] mediu a quantidade de cromo na matriz encontrando 12,5% em uma liga de ferro branco 28,8% Cr – 3,2%C. Isto leva a crer que elementos adicionais de liga são necessários para alcançar suficiente temperabilidade, particularmente com seções maiores. Os elementos mais comuns são o molibdênio, níquel, manganês e cobre [2]. Para a relação Cr/C=10 a adição de Mo resulta, entre outras coisas, no aparecimento do carboneto eutético  $M_6C$  [3, 5].

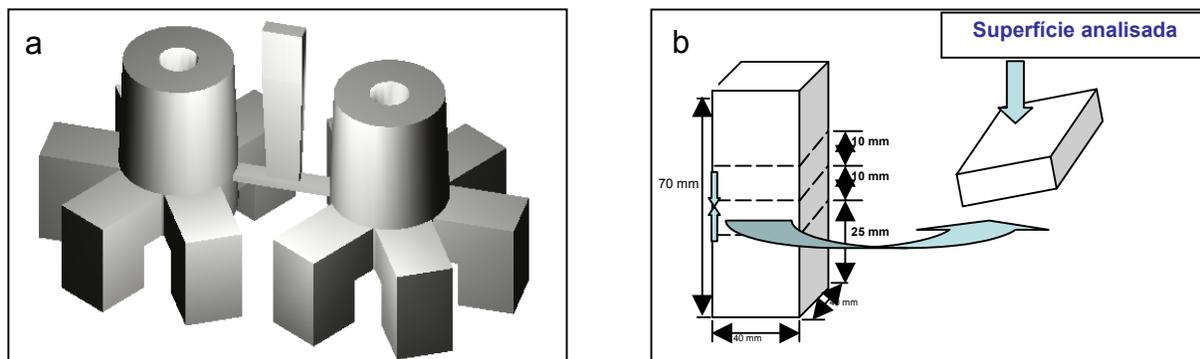
Certas propriedades dos elementos de liga nos ferros fundidos branco alto cromo são de interesse em aplicações envolvendo desgaste abrasivo de alta severidade, em particular o molibdênio que age suprimindo a formação de perlita e aumentando a temperabilidade por uma efetiva inibição da precipitação de carbonetos secundários durante o resfriamento [2]. Além de apresentar indícios de melhoria no desempenho quanto à abrasão em temperaturas significativas [6].

O objetivo deste trabalho é verificar a variação da dureza e microestrutura de quatro ligas (Tabela 1) em diferentes tempos a 700°C.

## 2 METODOLOGIA

A composição química com os principais elementos de liga das amostras estudadas se encontram na Tabela 1.

As ligas estudadas foram obtidas através de processo convencional de fundição em areia, no Instituto de Pesquisas Tecnológicas - SP, gerando blocos de dimensão 40x40x70 mm<sup>3</sup> (Figura 1a). Os blocos foram cortados em serra circular a base de CBN (MEYER & BURGER S.A., Suíça, modelo T53) com pequena velocidade de avanço (0,006 mm/s), alta rotação e bem refrigerado. A região escolhida para retirada da amostra esta ilustrada na Figura 1b.



**Figura 1.** a) Peça bruta de fundição com os canais e massalotes; b) Posicionamento dos cortes no bloco bruto de fusão.

**Tabela 1.** Composição química dos principais elementos das ligas no estado bruto de fusão.

Ligas	Análise Química (% em peso)						
	Cr	C	Mo	Si	Mn	Ni	Fe
20-0	21,39	2,1	0,0282	1,06	0,317	0,0986	74,86
20-9	19,68	2,13	8,69	1,04	0,269	0,148	67,84
32-0	32,59	3,08	0,0484	2,02	0,328	0,142	61,91
32-9	31,81	3,34	9,01	1,62	0,276	0,0998	52,99

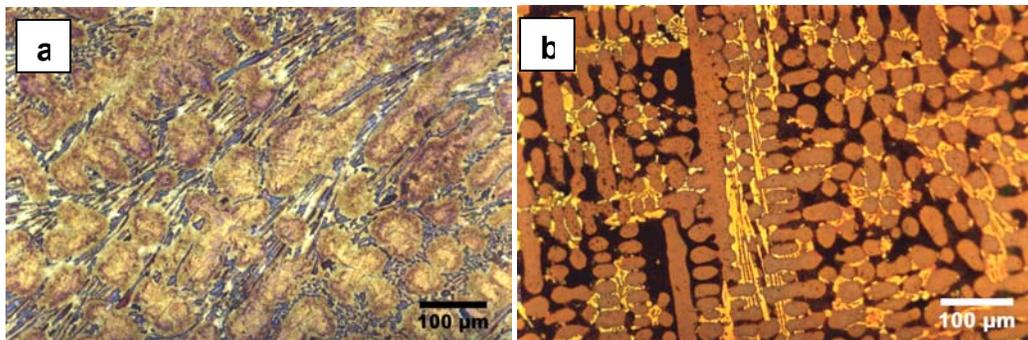
As amostras foram preparadas para metalografia quantitativa e qualitativa com os reagentes Vilella, nital 4% e Murakami modificado aquecido até o início de ebulição [7], que foi o reagente que apresentou melhor contraste para o carboneto do tipo  $M_7C_3$  e para o eutético de  $M_6C$  (Figura 4).

Foi realizada difração de raios-X com radiação de  $Cu K\alpha$  para investigar as fases presentes.

O tratamento térmico consistiu em manter as amostras a  $700^\circ C$  em tempos de  $\frac{1}{2}$ , 1, 2, 3, 4 e 5 horas. Em seguida, a dureza destas amostras foi verificada em durômetro Vickers com carga de 10 Kgf, num total de 15 impressões por amostra.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na liga 20-0 bruta de fusão, somente duas fases foram identificadas na difração de raios-X (Tabela 2), carbonetos do tipo  $M_7C_3$  e ferrita. A microestrutura desta liga consiste de dendritas e carboneto eutético do tipo  $M_7C_3$  (Figura 2) no espaço interdendrítico. No interior das dendritas, o centro é constituído de ferrita e pode se notar que existe uma estrutura na borda que, quando atacada com o reagente Vilella, apresenta, em maiores aumentos, um aspecto lamelar tipo perlítico, o qual não foi revelado quando atacado com Nital 4% [3]. Este fato reforça a suspeita de que esta estrutura lamelar é constituída de  $M_7C_3$  e ferrita, semelhante ao encontrado por Maratray [4]. Já a liga hipoeutética 20-9 apresentou uma microestrutura consistindo de matriz austeno-martensítica e carbonetos eutéticos do tipo  $M_7C_3$  e  $M_6C$  o que acarretou no aumento da dureza.



**Figura 2.** Imagens das ligas a) 20-0 e b) 20-9 no estado bruto de fusão.

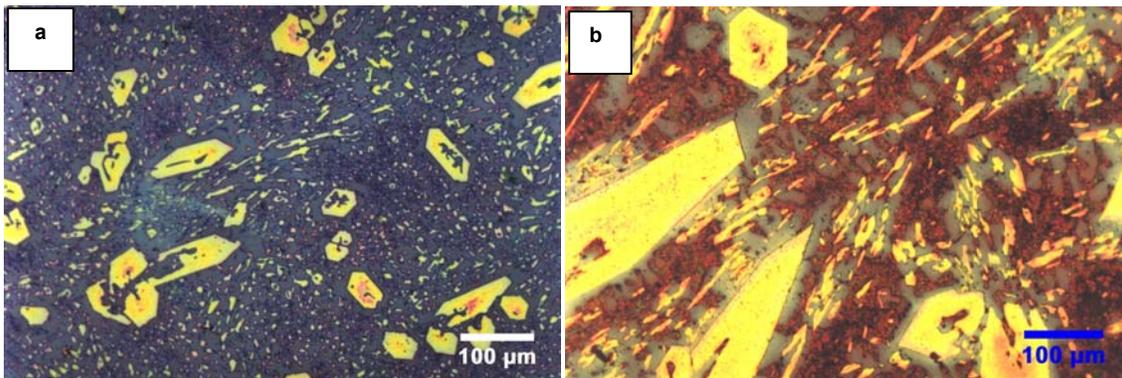
Na liga 20-9, o Mo favorece ao surgimento de carbonetos eutéticos  $M_6C$  e de fase  $\gamma$ , como mostram a micrografia (Figura 2) e a difração de raios-X (Tabela 2). A

microestrutura consiste de dendritas de fase  $\gamma$  com algum produto de transformação desta e, no espaço interdendrítico, carbonetos eutético do tipo  $M_7C_3$  e  $M_6C$ .

**Tabela 2.** Fases observadas na difração de raios-X [3].

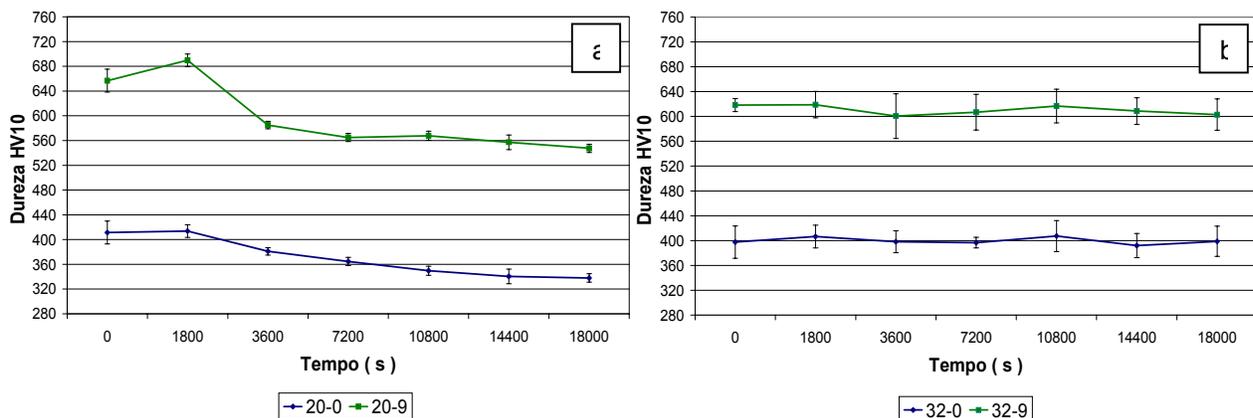
%Cr	Fases Presentes	
	0% Mo	9% Mo
20	$M_7C_3$ e $\alpha$	$\gamma + \alpha$ ou $\alpha'$ , $M_7C_3$ e $M_6C$
32	ferrita e $M_7C_3$	ferrita, $M_7C_3$ e $M_6C$

As duas ligas hipereutéticas no estado bruto de fusão apresentaram matriz ferrítica e carbonetos do tipo  $M_7C_3$ . A adição de Mo estimulou a formação de carbonetos eutéticos do tipo  $M_6C$  conforme difração de raios-X (Tabela 2) e micrografias (Figura 3) [3].



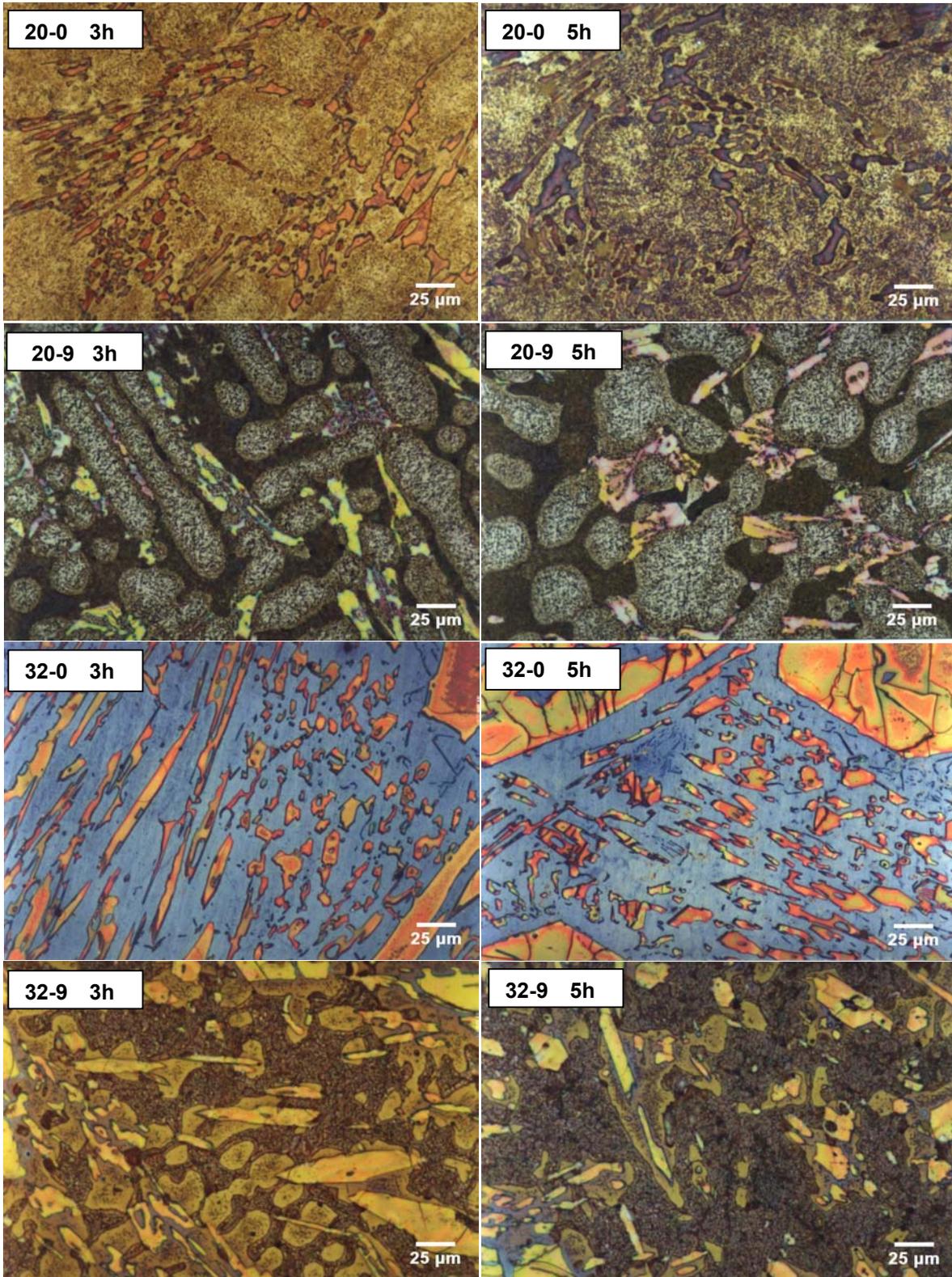
**Figura 3.** Imagens das ligas no estado bruto de fusão: a) 32-0 e b) 32-9.

Como esperado, tanto a liga 20-9 quanto a liga 32-9 apresentaram dureza maior (Figuras 4a e 4b) que as das ligas isentas de Mo devido a influência deste na matriz e na constituição dos carbonetos  $M_6C$  e  $M_7C_3$ . Após 5 horas a  $700^\circ\text{C}$ , ambas as matrizes das ligas hipoeutéticas são ferríticas conforme Maratray [8], porém, a liga 20-9 ainda é mais dura.



**Figura 4.** Variação da dureza no tempo após tratamento térmico a  $700^\circ\text{C}$ . a) Ligas 20-0 e 20-9; b) Ligas 32-0 e 32-9.

Nas duas ligas hipoeutéticas houve precipitação de carboneto secundário após 5 horas a  $700^\circ\text{C}$  (Figuras 2 e 5), o que pode ser a causa na queda da dureza.



**Figura 5.** Micrografias das ligas 20-0, 20-9, 32-0 e 32-9 após 3 e 5 horas a 700°C.

As ligas hipereutéticas mantiveram a mesma dureza após o tratamento térmico (Figura 4). Não foi observada mudança microestrutural significativa na liga 32-0 (Figuras 3 e 5). Já a liga 32-9 apresentou alguma precipitação de carboneto secundário na matriz (Figuras 3 e 5), porém estes não interferiram na dureza (Figura 4).

Comparando a dureza das ligas 20-0 e 32-0 (Figura 6a), ambas após o tratamento térmico por 5 horas, verifica-se uma diferença igual a 61 HV<sub>10</sub>. Fazendo o mesmo para as ligas 20-9 e 32-9 (Figura 6b), esta diferença é igual a 56 HV<sub>10</sub>, ou seja, praticamente a mesma diferença para um mesmo teor de Mo (Figura 7).

A variação da dureza entre as ligas 20-0 e 20-9, após 5h a 700°C, é de 209 HV<sub>10</sub>, e das ligas 32-0 e 32-9 é de 204 HV<sub>10</sub>, a adição de 9 % de Mo influenciou na dureza com praticamente o mesmo aumento de, aproximadamente, 200 HV<sub>10</sub> (Figura 7).

Para o mesmo teor de Mo, aumentando a quantidade de Cr, tem-se um incremento na dureza de aproximadamente 55 HV<sub>10</sub>, devido ao aumento na fração volumétrica de carbonetos (M<sub>7</sub>C<sub>3</sub> para 0% e M<sub>7</sub>C<sub>3</sub> + M<sub>6</sub>C para 9% de Mo), incluindo a presença de carbonetos primários (M<sub>7</sub>C<sub>3</sub>). Aumentando a quantidade de Mo, para uma mesmo teor de Cr, o incremento é de aproximadamente 200 HV<sub>10</sub>, sugerindo um sinergismo entre uma matriz rica em Mo e o aumento da fração volumétrica de carbonetos.

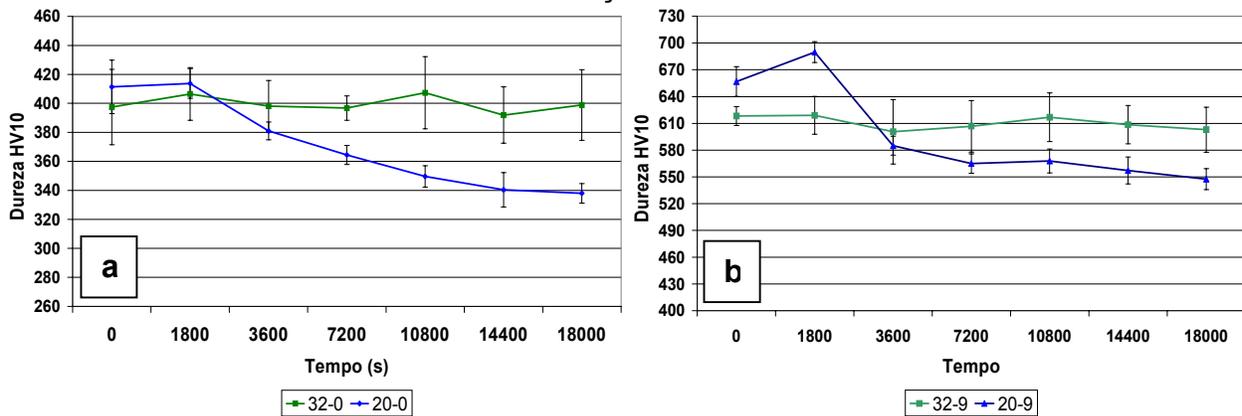


Figura 6. Evolução da dureza das ligas. a) 20-0 e 32-0; b) 20-9 e 32-9

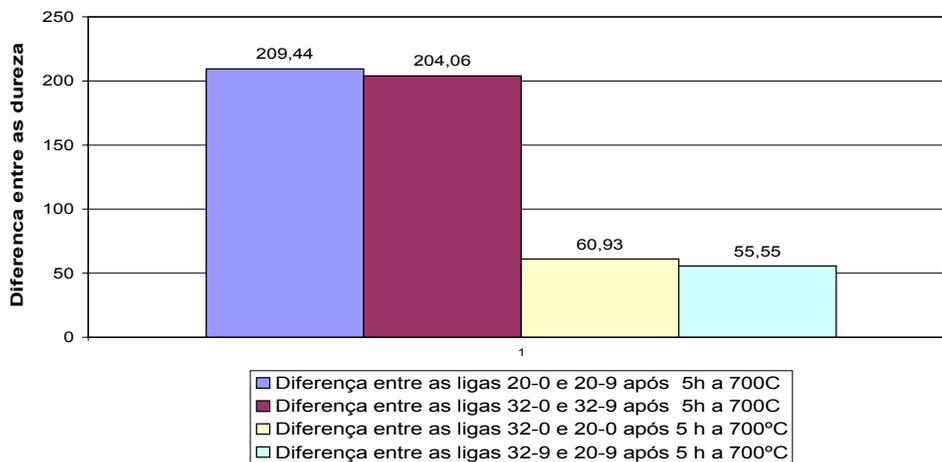


Figura 7. Diferença entre durezas médias após tratamento térmico à 700°C por 5 horas.

## CONCLUSÃO

As ligas 32-0 e 32-9 eram ferríticas no estado bruto de fusão, visto que após 5 horas a 700°C, não foi observado variação na dureza destas.

A liga 20-0 após 5 horas de tratamento térmico apresentou uma queda em sua dureza, esta queda foi motivada pelo revenimento da martensita presente. Sua matriz no estado bruto de fusão era um composto de ferrita e martensita.

A liga 20-9 foi a que apresentou a maior queda de dureza, isso devido à decomposição da austenita e do revenimento de alguma martensita presente.

Analisando as durezas após 5 horas a 700°C, concluímos que o Mo tem uma maior influência na dureza destas ligas que o Cr conforme gráfico da figura 7.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 Citado pela referência [2]
- 2 C. P. Tabrett, I. R. Sare and M. R. Ghomashchi, International Materials Reviews, 41 (1996) 59-82.
- 3 S. M. de Carvalho, Dissertação de Mestrado, PPGEM/UFES (2005).
- 4 Maratray et R. Usseglio-Nanot, Factours affectant la structure des fontes blanches au chrome-molybdène. 1<sup>o</sup> ed. Paris, France : Climax Molybdenum (1972) 5-32.
- 5 J.D. de Mello, M. Durand-Charre and Hamar-Thibault, Metallurgical Transactions A, 14A (1983) 1793-1801.
- 6 M. Ikeda, T. Umeda, C. P. Tong, T. Suzuki, N. Niwa and O. Kato, ISIJ International, 32 (1992) 1157-1162.
- 7 W.K.Collins and J.C.Watson, Materials Characterization, 24 (1990) 379-386.
- 8 Maratray et Usseglio-Nanot, Atlas Courbes de transformation de fontes blanches au chrome et au chrome-molybdène, Climax Molybdenum (1970).

# EFFECT OF MOLYBDENIUM ON THE MICROSTRUCTURE AND HARDNESS OF HIGH CHROMIUM WHITE CAST IRON AFTER DIFFERENT HEAT TREATMENT TIMES AT 700° C<sup>1</sup>

*Sandro Mauro de Carvalho*<sup>2</sup>

*Eduardo Albertin*<sup>3</sup>

*Marcelo Camargo Severo de Macêdo*<sup>4</sup>

*José Daniel Biasoli de Mello*<sup>5</sup>

*Cherlio Scandian*<sup>6</sup>

## **Abstract**

This work aims to evaluate the effect of molybdenum and chromium contents and also the influence of the heat treatment time on the microstructure and hardness of two hypoeutectic (20 wt% Cr - 2 wt% C and 20 wt% Cr - 2 wt% C - 9 wt% Mo) and two hypereutectic alloys (32 wt% Cr – 3.2 wt% C and 32 wt% Cr – 3.2 wt% C - 9 wt%Mo). Heat treatment was performed at 700°C in six different times ( ½, 1, 2, 3, 4 e 5 hours) and the samples were air cooled. The microstructure was characterized by optical and scanning electron microscopy and also x rays diffraction. Vickers hardness (10 kgf) measurements are performed to follow any microstructure changing. The 32 wt% Cr compositions show no hardness variation with the heat treatment time and as expected the 9 wt% Mo alloy presents higher hardness. The 20 wt% Cr alloy with 9% Mo also presents higher hardness, but the two alloys shows an hardness decreasing after 2 hours exposition, suggesting microstructural changes.

**Key-words:** Heat treatment; High chromium white cast iron; Molybdenum.

---

<sup>1</sup> 60th ABM Congress – International – 25-28 July 2005 – Belo Horizonte – MG – Brazil.

<sup>2</sup> MSc, PPGEM, UFES – ES – Brazil.

<sup>3</sup> Dr. IPT – SP - Brazil – Member of ABM.

<sup>4</sup> Dr., PPGEM/UFES – ES – Brazil – Member of ABM.

<sup>5</sup> Dr., LTM/FEM/UFU – MG – Brazil – Member of ABM.

<sup>6</sup> Dr., PPGEM/UFES – ES – Brazil – Member of ABM.