

COMPARAÇÃO MICROESTRUTURAL DE UM FERRO FUNDIDO CINZENTO AUSTEMPERADO¹

Paulo Henrique Ogata²

Douglas Moraes³

Rafael Maia⁴

José Veríssimo Silva dos Santos⁵

Resumo

A microestrutura de um ferro fundido cinzento convencional é formada por grafita lamelar em uma matriz ferrítica e/ou perlítica. Neste trabalho foi realizado o tratamento de austêmpera em ferros fundidos cinzento. As amostras foram austenitizadas na temperatura de 900°C por 3 min, então rapidamente resfriados (austemperados) para a temperatura de 400°C, onde as amostras foram mantidas em três diferentes tempos (15 min, 30 min e 60 min). Depois dos tratamentos, as amostras foram preparadas utilizando metalografia e caracterizadas por microscópio eletrônico de varredura (MEV). Na condição de 15 min no tratamento isotérmico. Foi possível observar placas finas de bainita, indicando que a transformação desta fase ocorre em um tempo relativamente curto. As amostras foram submetidas a testes de microdureza HV_{0,5}. Os resultados mostraram um aumento de dureza em maiores tempos de tratamento térmico nos tratamentos isotérmicos.

Palavras-chave: Bainita; Austêmpera; Ferro fundido cinzento; Dilatometria.

COMPARISON BETWEEN MICROSTRUCTURAL IN AUSTEMPERED GREY CAST IRON

Abstract

The microstructure of a conventional grey cast iron is formed by lamellae of graphite dispersed in a ferritic or pearlitic matrix. In this work an austempering heat treatment was realized in grey cast iron. The samples were austenitized at the temperature of 900 °C for 3 minutes, then rapidly cooled (austempered) to the temperature of 400 °C, where the samples were maintained at three different times (15min., 30min. and 60min.). After the treatments, the samples were prepared using metallographic procedures and characterized by scanning electron microscopy (SEM). In the condition of 15 min of isothermal treatment, it was possible observe thin plates of bainite, indicating that the transformation occurred in a relatively short time. The samples were also subjected to mechanical tests of microhardness HV_{0,5}. The results showed an increase in hardness for longer times of isothermal treatments.

Key words: Bainite; Austempering treatment; Grey cast iron; Dilatometry.

¹ Contribuição técnica ao 68º Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Estudante de Doutorado do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Universidade de São Paulo USP.

³ Pós-Doutorando do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Universidade de São Paulo USP.

⁴ Estudante de Mestrado do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Universidade de São Paulo USP.

⁵ Estudante de Graduação em Tecnologia em Processos Metalúrgicos do Faculdade de Tecnologia Senai Nadir Dias de Figueiredo.

1 INTRODUÇÃO

O ferro fundido cinzento é essencialmente uma liga ternária formada por Fe-C-Si contendo pequenas quantidades de elementos de liga. A grafita presente no ferro fundido cinzento é formada durante o processo de solidificação e apresenta-se em forma de “veios” possibilitando que o material apresente como características: excelente usinabilidade, alta fundibilidade, baixa contração na solidificação, condutividade térmica, amortecimento de vibrações e baixo custo o que permite seu emprego em diversas aplicações. Na indústria automobilística é empregado em blocos e cabeçotes de motor, camisas de pistão, carcaças, tambores, discos de freio e volantes.

O tratamento térmico de austêmpera serve como um importante aliado no aumento das propriedades mecânicas. A partir do tratamento de austêmpera, a microestrutura de partida do material bruto de solidificação é convertida para uma matriz acicular (ferrita e austenita).

Cheng-Hsun Hsu et al.⁽¹⁾ realizaram tratamento isotérmicos de austêmpera em ferro fundido cinzento com composição C 3,78; Si 2,07; Mn 0,38; P 0,025; S 0,024; Cu 0,40, nas temperaturas de 300°C por 3 h e 360°C por 2 h, sendo que ambas haviam sido austenitizadas a 900°C por 1,5 h. Foi observada a formação de microestrutura composta por bainita inferior, bainita superior e mista (inferior/superior) e concluiu-se que a microestrutura mista apresenta melhores propriedades do que as constituídas por apenas um tipo de bainita (inferior/superior), isto é de extrema importância uma vez que os ferros fundidos cinzentos tendem a apresentar baixas propriedades mecânicas (dureza 152 HB e K1C 12.3 MPa \sqrt{m}).

Xu et al.,⁽²⁾ em seu trabalho avalia o efeito da microestrutura nas propriedades mecânicas do ferro fundido cinzento afirmando que os elementos de ligas adicionados neste material melhoram suas propriedades. Os resultados obtidos mostram que o aumento na fração de bainita resulta num aumento substancial das propriedades mecânicas.

Vadiraj et al.⁽³⁾ afirmam que as propriedades mecânicas estão correlacionadas com o tamanho das ripas de ferrita e da matriz bainítica causando uma redução na variação da resistência à tração e que a taxa de desgaste aumenta significativamente com o aumento da espessura das ripas de ferrita.

Vadiraj et al.,⁽⁴⁾ concluíram que as propriedades mecânicas das ligas na condição austemperada são melhores do que as do ferro fundido cinzento perlítico. As ligas austemperadas mostraram elevada resistência ao desgaste (7 -15 vezes) e redução de atrito (30-50%) em comparação com ferro fundido cinzento perlítico.

Xu et al.,⁽⁵⁾ obtiveram melhoria nas principais propriedades mecânicas do ferro fundido cinzento (ductilidade, resistência e resistência ao impacto, dureza) com o aumento da fração volumétrica de bainita.

O objetivo deste trabalho foi a partir do tratamento térmico de austêmpera acompanhar as reações de cinética, assim como, a evolução microestrutural, que levam à formação de bainita em um ferro fundido cinzento.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O material em estudo é um ferro fundido cinzento fornecido pela empresa Tupy S.A. fornecido na condição bruta de fundição, em forma de barras. A composição química do material é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Composição química do ferro fundido cinzento

Material	Si	Mn	P	S	Cr	Ti	Sn	Cu	Pb	B	Bi
FCZ	2,56	0,43	0,037	0,103	0,025	0,009	0,059	0,495	0,00083	0,0007	0,00201

O diagrama de composições das fases em função da temperatura (Figura 1) foi obtido a partir do software thermocalc. A temperatura de 900°C, escolhida para o tratamento de austenitização, apresenta as seguintes fases em equilíbrio: austenita e grafita.

As amostras de dilatométrica foram usinadas nas dimensões: formato cilíndrico com diâmetro de Ø4mm e comprimento de 10mm. Os ensaios de dilatométrica seguiram o ciclo térmico apresentado (Figura 2) foram realizados os seguintes procedimentos: aquecimento sob vácuo a uma taxa de 20°C/s até 900°C e mantidas nesta temperatura durante 3 min; resfriamento a uma taxa de 100°C/s até a temperatura de 400°C e mantidas nesta temperatura durante 15, 30 e 60 min. por fim resfriadas a temperatura ambiente a uma taxa de 100°C/s em ambiente inerte contendo gás He. A nomenclatura das amostras correlacionadas aos testes são apresentadas na Tabela 2. Os testes foram realizados utilizando dilatômetro Bahr modelo DIL805A.

As amostras tratadas foram caracterizadas por ensaios metalográficos e por microscopia eletrônica de varredura (MEV) marca Phillips XL30. As propriedades mecânicas das amostras com e sem tratamento foram avaliadas por microdureza Vickers, no microdurômetro Zwick modelo CO&KG.

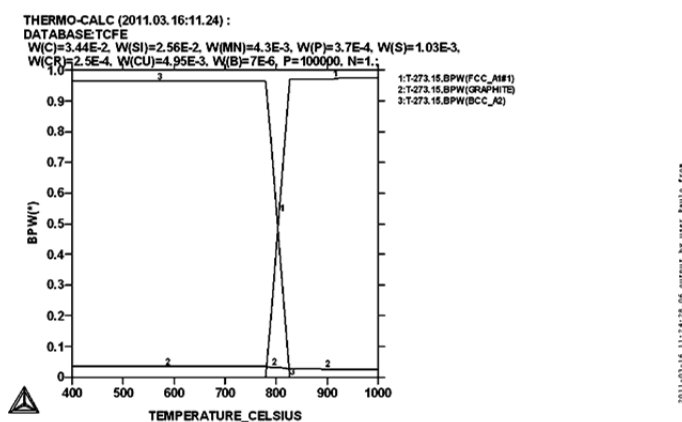


Figura 1 – Fração das fases em equilíbrio VS Temperatura, simulados no Thermocalc.

Tabela 2: Identificação das amostras e condições de tratamento térmico utilizados

Identificação da amostra	Condições de tratamento
FCZ-0	Austenitização a 900°C seguido de têmpera em gás He (100°C/s).
FCZ-15	Austenitização a 900°C seguido de têmpera em gás He (100°C/s). Austempera a 400°C durante 15 min.
FCZ-30	Austenitização a 900°C seguido de têmpera em gás He (100°C/s). Austempera a 400°C durante 30 min.
FCZ-60	Austenitização a 900°C seguido de têmpera em gás He (100°C/s). Austempera a 400°C durante 60 min.

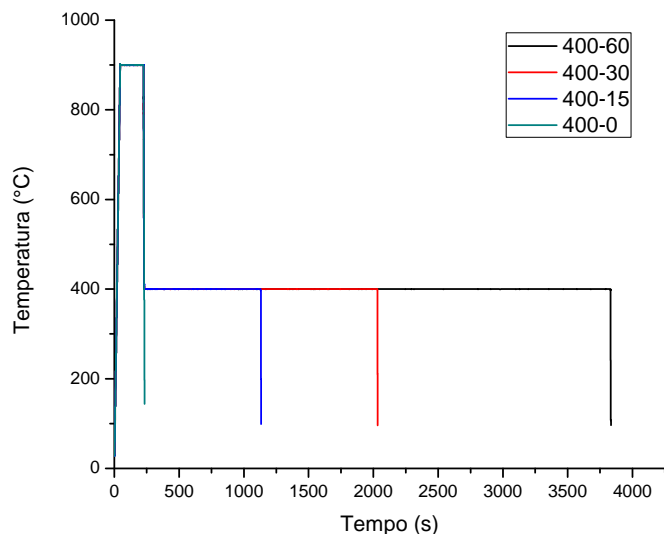


Figura 2- Ciclo térmico utilizados nos ensaios de dilatométrica.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Testes de Dilatométrica

A Figura 3a apresenta a curva de dilatométrica, obtido durante o processo de tempera do ferro fundido cinzento, é possível obter na curva (temperatura VS dilatação). A Figura 3b apresenta a curva (tempo VS dilatação) das amostras (FCZ-15, FCZ-30 e FCZ-60).

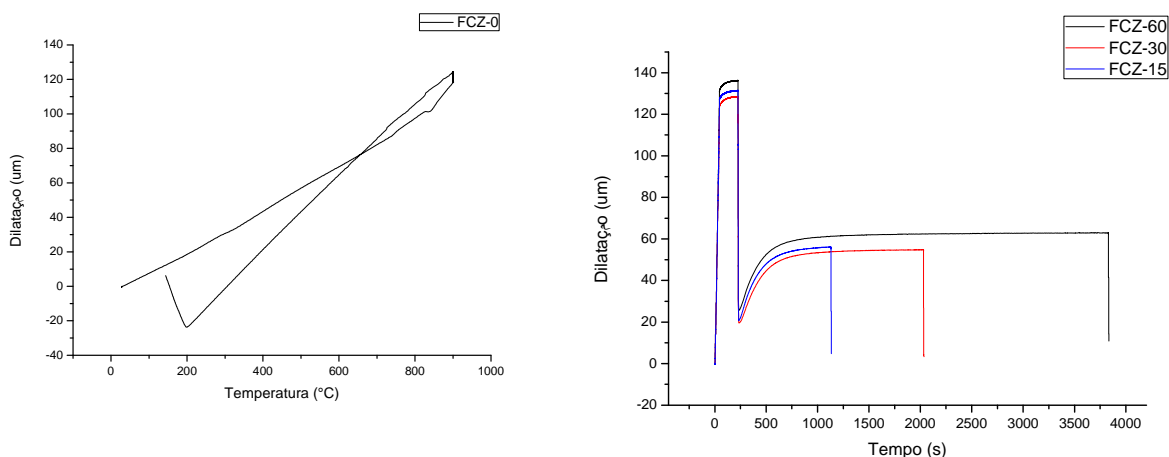


Figura 3- Curvas de dilatométrica de um ferro fundido cinzento. a) determinação do M_s a partir da curva temperatura VS dilatação. b) determinação do tempo de início da transformação de bainita.

É possível observar na Figura 3a que o início da transformação martensítica (M_s) ocorre na temperatura de 203°C. Para as condições com tempo inferior a 4min foi observada a transformação bainítica; após esse período a dilatação se torna constante Figura 3b. A Tabela 3 apresenta os resultados de Dureza $HV_{0,5}$ para ferro fundido cinzento, austenitizado a 900 °C e austemperado a 400 °C.

Tabela 3 - Dureza HV_{0,5} para ferro fundido cinzento, austenitizado a 900 °C e austemperado a 400°C

Tempo de austêmpera (min)	Dureza (HV _{0,5})	Incerteza
0	325	7
15	242	14
30	273	5
60	279	1

Os resultado apresentados na Tabela 3 mostram que com o aumento do tempo de austêmpera a um aumento nos valores de Dureza HV_{0,5}.

3.2 Tratamentos Térmicos de Austenitização e Eustemperera

A Figura 5 a-c apresenta micrografias obtidas por MEV das microestruturas do material austemperado para os três diferentes tempos de austêmpera estudados (15,30 e 60min.) a uma temperatura de 400°C.

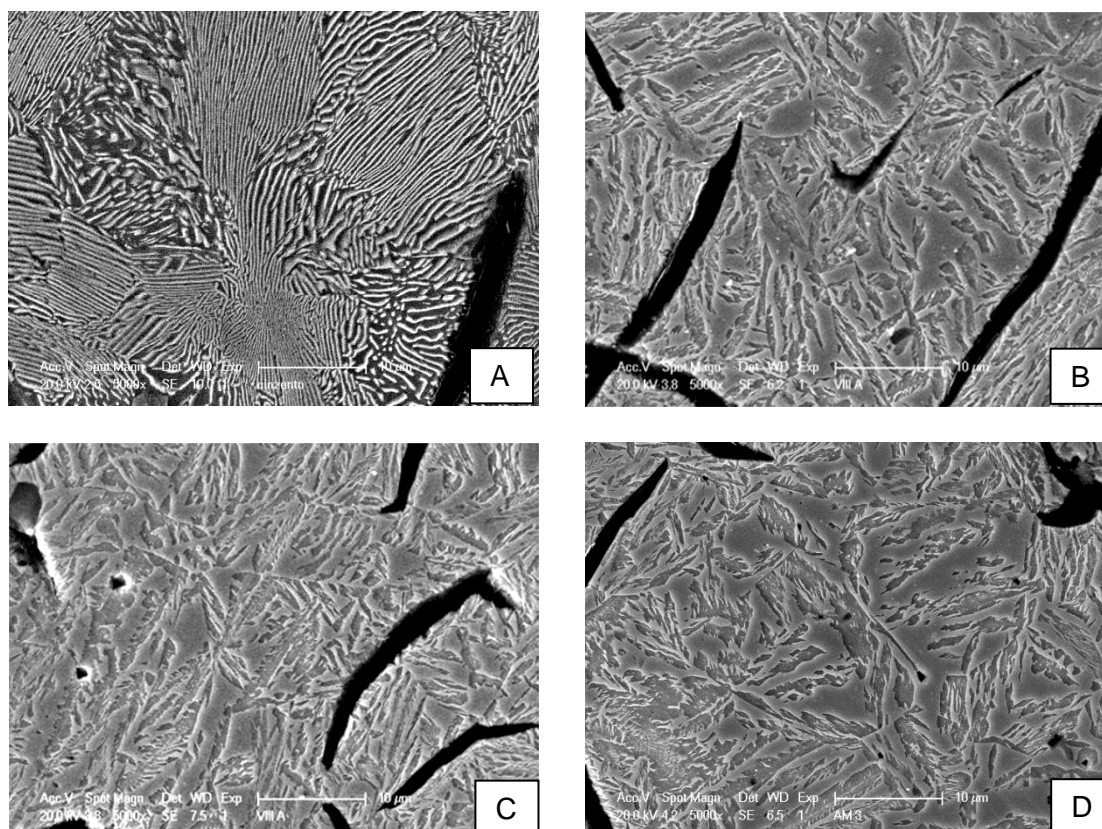


Figura 5- Microestruturas típicas de bainita obtidos nas amostras de ferro fundido cinzento austemperado. Tempo de austemperera: (a) Condição como recebida, (b) 15min. e (c) 30 min. (d) 60min.

Na micrografia apresentada na Figura 5a, amostra na condição inicial, a microestrutura apresenta uma matriz perlítica (ferrita/cementita) acompanhada de grafita lamelar. Após o tratamento isotérmico de 15 minutos verificou-se a formação de bainita com ripas finas, esta formação se dar pela reação eutetóide onde a austenita se decompõe resultando nas microestruturas posteriores.

As Figuras 5b, 5c e 5d mostram o engrossamento das ripas de bainita, cujo mecanismo é controlado pela difusão de carbono. O tempo de 60 minutos utilizado

no tratamento isotérmico não foi suficiente para chegar ao final da janela de processo.

A Figura 6 apresenta o gráfico formado pela relação fração volumétrica de bainita versus dureza $HV_{0,5}$, onde é possível observar um aumento nos valores apresentados.

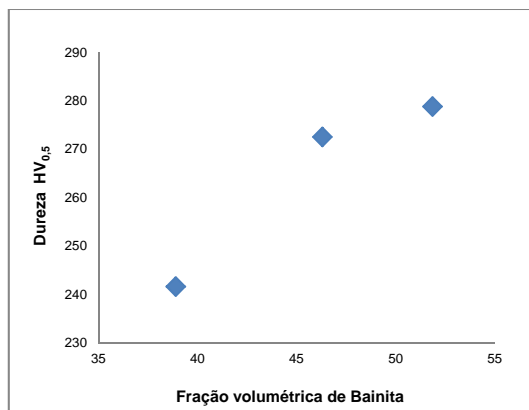


Figura 6- Gráfico de relação entre fração volumétrica de bainita versus dureza $HV_{0,5}$.

Na Figura 6, observa-se que o aumento de dureza é diretamente proporcional às porcentagens de bainita formadas e como consequência deste aumento outras propriedades mecânicas tendem a ser alteradas.

O presente trabalho tem mostrado que a fração volumétrica de bainita, formada no ferro fundido cinzento austemperato, corrobora com o aumento das propriedades mecânicas. Para um mesmo material, mas com tempos de austempera diferenciados foi possível obter diferentes frações de bainita e consequente diferentes propriedades mecânicas, isto havia sido mencionado por Xu et al., em seus trabalhos.^(2,5)

4 CONCLUSÃO

- Os ensaios de dilatométrica mostraram que a partir de 4min. observa-se o início da formação de bainita da liga em estudo.
- O tratamento térmico de austempera a 400°C formou bainita no material.
- O tempo de austempera influenciou na porcentagem de bainita do material.
- O valor de dureza é diretamente proporcional à porcentagem de bainita formada no material.

Agradecimentos

À Capes pela bolsa de doutorado, a Tupy pela doação do material de estudo e a Epusp.

REFERÊNCIAS

- 1 Cheng-Hsun Hsu, et al.. "Effect of austempering heat treatment on fracture toughness of copper alloyed gray iron." Materials Chemistry and Physics 63(1): p 75-81,2000.
- 2 Xu, W., et al.. "The effect of ausferrite formation on the mechanical properties of gray iron." Scripta Materialia 51(7): p 705-709,2004.

- 3 Vadiraj, A., et al. "Studies on mechanical and wear properties of alloyed hypereutectic gray cast irons in the as-cast pearlitic and austempered conditions." *Materials & Design* 31(2): p 951-955, 2010.
- 4 Vadiraj, A., et al. "Structure–property correlation in austempered alloyed hypereutectic gray cast irons." *Materials Science and Engineering: A* 527(3): p 782-788, 2010.
- 5 Xu, W., et al. "Influence of alloying elements on as-cast microstructure and strength of gray iron." *Materials Science and Engineering: A* 390(1–2): p 326-333, 2005.