DETERMINAÇÃO DA JANELA DE PROCESSO NO TRATAMENTO TÉRMICO DE AUSTÊMPERA DE UMA LIGA DE FERRO FUNDIDO NODULAR

Xisto Antunes dos Santos (PROVIC/UEPG), Marcio Ferreira Hupalo (Orientador), mfhupalo@uepg.br

Universidade Estadual de Ponta Grossa/Departamento de Engenharia de Materiais.

Engenharia de Materiais e Metalúrgica, Metalurgia Física.

Palavras-chave: Ferro fundido nodular, austêmpera, dureza Vickers.

Resumo

Os ferros fundidos nodulares austemperados (ADI) são materiais de grande importância tecnológica em função da interessante combinação de propriedades, um dos principais tratamento térmicos usados é a austêmpera convencional, por isso este trabalho busca uma rota com uma temperatura mais baixa, de 300 °C de patamar, buscando uma microestrutura mais refinada, obtendo-se uma matriz de ferrita bainítica. Junto a isso avaliasse o tempo necessário para que o material entre no segundo estágio de transformação, onde há perda das propriedades mecânicas devido a precipitação de carbeto de ferro, fragilizando o material.

Introdução

Os ferros fundidos nodulares podem ser classificados como uma liga ternária de Fe-C-Si. A microestrutura é composta de nódulos de grafita envoltos por ferrita e colônias de perlita (1).

A austêmpera é um tratamento térmico que consiste de duas etapas, inicialmente há um pré-aquecimento do material e a austenitização numa temperatura entre 840 a 950°C, permanecendo nessa temperatura por um certo tempo, após isso há resfriamento rápido do material até a temperatura de patamar da austêmpera, que é na faixa de 230 a 400 °C abaixo da temperatura de formação da perlita e acima do início da linha de transformação martensítica (2, 3).

Há dois estágios de transformação que o material pode passar. No primeiro estágio da reação, há decomposição da austenita em ferrita bainítica e a austenita retida fica rica em carbono. Já no segundo estágio da transformação há a precipitação de carbeto de ferro, que ocorre devido à manutenção da temperatura do banho, assim a austenita rica em carbono diminui a energia livre pela rejeição de carbono, induzindo a precipitação de carbetos dentro da austenita, deixando o material frágil, logo é preferível que permaneça no banho tempo suficiente que permita ficar entre os dois estágios, chamado de “janela de processo”. O silício presente na composição química dos ferros fundidos nodulares retarda a formação de carbonetos e retém a austenita estável de alto carbono (2, 3).

Materiais e Métodos

O material utilizado no presente trabalho foi uma liga de ferro fundido nodular produzida com uma composição química elaborada de acordo com a norma SAE D5506. A composição química da liga é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição química da liga de ferro fundido nodular (% em peso).

C	Si	P	S	Mn	Mg	Cu	Fe	Ceq.
3,42	2,58	0,053	0,02	0,246	0,029	0,335	Bal.	4,29

Ceq = %C + 1/3 %Si

Primeiramente os corpos de prova foram postos em um forno tipo mufla a 500 °C por 15 minutos, foram retirados dela e postos num forno tubular a 900 °C durante uma hora para que realizasse a austenitização, após isso foram colocadas num forno tipo poço com banho de sais, de nitrato de sódio e nitrato de potássio com temperatura de 300 °C e foram deixadas em tempos crescentes.

Para preparar dos corpos de prova, efetuou-se o lixamento, através de lixas com granulometrias: 150, 240, 320, 400, 600, 1000, 1200 e 1500 mesh, respectivamente. Após finalizar o lixamento realizou-se o polimento com pasta diamantada de 1,0 µm, o processo era realizado até sumir todos os riscos de lixas, deixando uma superfície espalhada. Para revelar a microestrutura a amostra foi atacada uma solução de Nital 2% e foi observada a microestrutura das amostras em um microscópio ótico. Utilizou-se também um microscópio eletrônico de varredura.

Cada uma das amostras foram preparadas fazendo lixamento e polimento com ou sem ataque dependendo do caso e foram colocadas no em durômetro foram feitas 16 medidas de dureza em cada amostra, para o procedimento foi utilizada uma carga de 2942 N durante 15 segundos.

Resultados e Discussão

Usando como base a norma ASTM A247-16a foi determinado a modularidade do material, foi usado aumento de 100x e feita contagem dos nódulos em 1mm^2 com auxílio do programa Image Pro-Plus 5.1, chegando num valor de 230 nódulos/mm^2.

Para o grau de nodularização foram usadas micrografias com aumento de 200x e analisando as grafitas, classificando os tipos e fazendo a contagem de cada tipo, seguindo a norma ASTM A247-16ª e colocando os dados na seguinte equação.

$$Grau\ de\ nodularidade\ (\%) = \frac{1 * n_{Tipo\ 1} + 0{,}9 * n_{Tipo\ 2} + 0{,}7 * n_{Tipo\ 3} + 0{,}3 * n_{Tipo\ 4} + 0 * n_{Tipo\ 5}}{(n_{Tipo\ 1} + n_{Tipo\ 2} + n_{Tipo\ 3} + n_{Tipo\ 4} + n_{Tipo\ 5})}$$

Com 5 imagens foi feita a média e determinado o grau de 82,5%. Após isso foi avaliada a microestrutura com a amostra atacada mostrada na Figura 1.

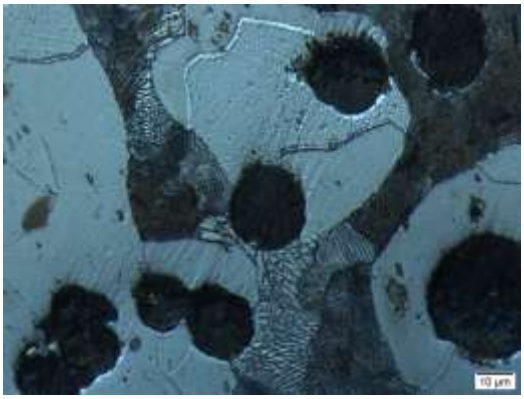


Figura 1 – Micrografia do ferro fundido bruto atacado com Nital 2% com aumento de 1000X e usando filtro de relevo.

A microestrutura é composta por uma matriz ferrítica/perlítica com proporção 60%/40% obtidas pelo programa Image Pro-Plus 5.1. As partes claras são ferrita e

as partes escuras são as colônias de perlita, além disso mostra o contorno eutético da fase austenítica antes das reações de decomposição da mesma, no qual servir como substrato para nucleação da ferrita ou perlita.

Para o material bruto foram feitas 5 medidas de dureza, primeiro em regiões próximas dos nódulos dando uma média de 204 HV e em regiões com ausência dos mesmos com média de 235 HV. Depois de atacada foi deito medições da dureza na ferrita e na perlita, tendo medias de 177 e 327 HV respectivamente. É visto que a perlita tem maior dureza que a ferrita, por ser composta de lamelas alternadas de ferrita e cementita, além disso foi visto que a dureza próxima aos nódulos foi maior que em regiões sem nódulos.

Após isso foram feitas novas medições de dureza apenas na ferrita, com identações em dois lugares distintos, com pouco contorno eutético e com bastante contorno eutético, tendo resultados de 150 e 191 HV respectivamente. Pode-se notar que a dureza em regiões com bastante contorno eutético teve maior dureza, podendo ser indicativo que o método usado nas amostras tratadas não seja o ideal, porém o adotado por não conseguir mais encontrar o contorno eutético na nova microestrutura e pôr o microscópio do durômetro ter um aumento máximo de 50X.

As amostras tratadas a 300 °C foram retiradas após tempos de 2, 9, 22, 50, 98, 295, 430, 630 e 940 horas, a partir das medidas de dureza nas amostras não foi possível evidenciar a entrada no segundo estágio, a qual oscilou entre 400 a 500 HV, exceto na amostra de 430 horas, qual houve uma queda na dureza.

Após foi feito fotos da micrografia das amostras tratadas, na Figura 2(a) tem-se a amostra tratada por duas horas no banho de sal, obtendo-se ao final uma microestrutura composta por uma matriz de ferrita bainítica, qual foi nucleada e desenvolvida preferencialmente nas interfaces austenita-grafita e nos contornos de grão austeníticos, tendo ao final um formato de agulhas. Além desta fase há partes claras que são constituídas de austenita não transformada, que ficou retida na microestrutura após o resfriamento e ainda possibilidade de encontrar martensita, que pode ter origem de uma transformação forçada da austenita retida.

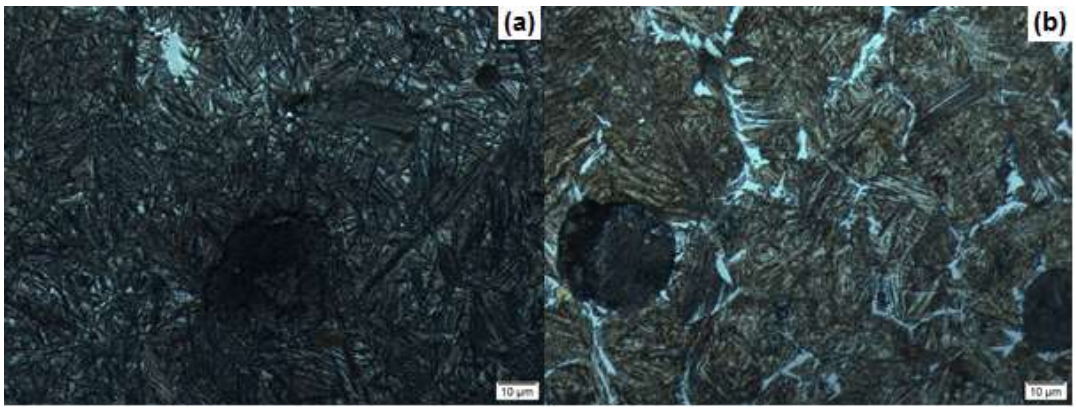


Figura 2 – Micrografia do ferro fundido bruto atacado com Nital 2% com aumento de 1000X (a) tratamento por duas horas (b) tratamento por 940 horas.

Na Figura 2(b) há microestrutura do material tratado num tempo de 940 horas, neste se vê as microestruturas já descritas, porém com os feixes de ferrita maiores, por permanecer mais tempo no patamar, além disso há relaxação de tensão na microestrutura, sendo que proporciona maior difusão do carbono, estabilizando a austenita retida, que se ver uma maior quantidade entre os feixes de ferrita bainítica.

Por fim para mesma amostra de 940 horas, foi realizado um FEG mostrada na Figura 3, nela pode-se ver com mais clareza os grãos devido a diferença de

orientação dos feixes de ferrita, além de ainda ter uma quantidade visível de austenita entre os grãos de ferrita.

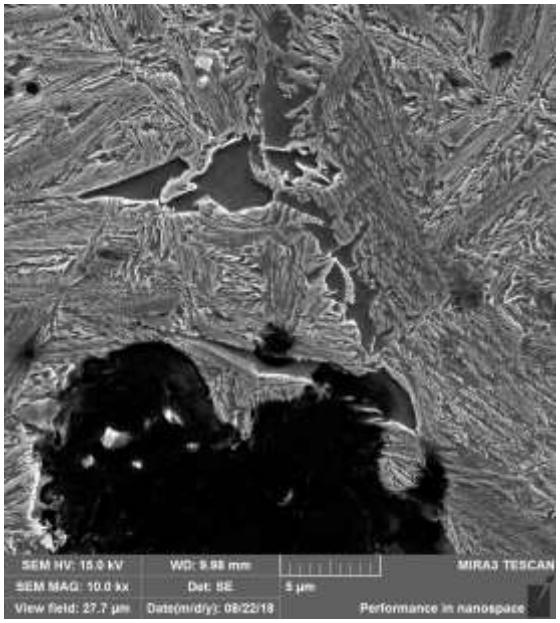


Figura 3 – FEG da amostra tratada a 940 horas a 300 °C.

Porém ainda não é perceptível a precipitação de carbetos, isso é devido a uma temperatura relativamente baixa para este tratamento térmico, pois o silício impede a precipitação dos mesmos, devido ele se apresentar como solução sólida substitucional, seria necessário uma temperatura maior que 300 °C.

Conclusões

O ferro fundido nodular austemperado apresentou uma microestrutura predominante de ferrita bainítica, além de possuir os nódulos de grafita e certa porcentagem de austenita não transformada que ficou retida após o tratamento térmico. Foi visto que para a temperatura de patamar de 300 °C não há indícios de precipitação de carbetos, que iriam fragilizar o material, devido à baixa energia fornecida para que inicia a difusão do silício.

Agradecimentos

Ao Prof. Dr. Márcio Ferreira Hupalo, pela contribuição de seus conhecimentos disposição em toda orientação no percurso deste trabalho.

Referências

[1] CHIAVERINI, V. **Aços e Ferros Fundidos: características gerais, tratamentos térmicos, principais tipos**. 7 Ed. Associação Brasileira de Metais, 2002.
[2] KOVACS, B.V. **Austempered Ductile Iron, Fact and Function. Modern Casting**. Des Plaines, v.80, n.3, p.38-41, mar.1990.
[3] PUTATUNDA, S.K. **Development of austempered ductile cast iron (ADI) with simultaneous high yield strength and fracture toughness by a novel two-step austempering process**. Materials Science and Engineering, v. 315, n. 1-2, p. 70-80, 2001.