CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE UM FERRO NODULAR PRODUZIDO POR FUCO® E SUBMETIDO AO TRATAMENTO DE AUSTÊMPERA

Cesar Augusto Ferreira De Araujo (PIBIC/Fundação Araucária/UEPG), Marcio Ferreira Hupalo (Orientador), e-mail: mfhupalo@gmail.com

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

Palavras-chave: Ferro fundido nodular austemperado, Transformações de fase, Microestrutura, Austenita retida, Ferrita bainítica.

Resumo

Os ferros fundidos nodulares austemperados são materiais de grande importância tecnológica em função da interessante combinação de propriedades como boa ductilidade e alta resistência mecânica, à fadiga e elevada tenacidade à fratura. A microestrutura destes materiais é composta por uma mistura de ferrita bainítica, austenita retida de alto carbono, grafita nodular e carbetos. No presente trabalho foram estudados aspectos cinéticos da transformação bainítica incompleta em ligas de ferro fundido nodular, as amostras foram austenitizadas a 900°C durante 60 minutos e em seguida austemperadas a 290 e 340ºC, no tempo fixo de 60 minutos, e resfriados ao ar, e no processo de tempera foi submetido a 2 horas de austenitização A caracterização microestrutural das amostras foi realizada com auxílio das técnicas de microscopia óptica e microdureza Vickers. As amostras tratadas a 290°C apresentaram microestrutura mais refinada e maiores frações transformadas para ferrita bainitica. A técnica de microscopia óptica, em função da sua baixa resolução, apresentou limitações para a quantificação das fases presentes na microestrutura.

Introdução

A evolução dos processos de fundição dos ferros fundidos vem possibilitando alternativas mais econômicas para a obtenção de produtos com qualidade similar, ou até superior, aos produtos obtidos a partir de barras de aço ou fundição convencional em areia verde. Um exemplo é o processo de fundição contínua, que consiste no vazamento do metal líquido em um forno alimentador, no qual uma coquilha de grafite refrigerada à água confere a forma e a dimensão desejada a perfis fundidos. O nome FUCO® é uma marca registrada para estes perfis. Por meio deste processo é possível a produção de barras de ferro fundido cinzento e nodular de estrutura refinada, com qualidade microestrutural e propriedades mecânicas superiores aos ferros fundidos produzidos pelo processo de fundição convencional [1-2].

Por mais que as produções brasileira e mundial de artefatos metálicos em ferro fundido cinzento sejam maiores que as produções em ferro fundido nodular, quando as aplicações exigem propriedades mecânicas superiores, em termos de limite de escoamento, limite de resistência à tração, ductilidade e tenacidade, os ferros fundidos nodulares são muito mais recomendáveis do que os ferros fundidos cinzentos. Isto é uma consequência da morfologia apresentada pela grafita na microestrutura destes materiais. A grafita, que possui resistência mecânica muito baixa, caracteriza-se como uma descontinuidade da matriz metálica, tendo, dessa forma, forte influência sobre as propriedades mecânicas [3-5].

O ferro fundido nodular FUCO® também pode ser submetido ao tratamento de austêmpera para a produção de componentes que necessitem de elevada resistência mecânica, inclusive são produzidos perfis em ligas específicas para este fim. Pode-se atingir valores de limite de resistência à tração entre 1000 e 1500 MPa, com alongamento de até 6% [1,6]. Os ferros fundidos nodulares submetidos ao tratamento térmico de austêmpera são indicados para a fabricação de engrenagens, eixos comando de válvulas, pinos, buchas e outros componentes que necessitem de tenacidade associada à resistência ao desgaste [8]. Nesse contexto, o presente projeto se dedicou ao estudo de propriedades mecânicas de um ferro nodular produzido por FUCO e submetido ao tratamento térmico de austêmpera.

Material e Métodos

O ferro fundido nodular produzido por fundição contínua (FUCO®) foi adquirido junto à Fundição Tupy, de Joinville-SC, na forma de barras redondas com duas polegadas de diâmetro e 2 metros de comprimento. Os corpos de prova para as diferentes caracterizações e ensaios foram cortados e usinados no Laboratório de Usinagem da Física. A composição química do ferro nodular é apresentada na tabela 1.

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

C	Si	P	S	Mn	Mg	Cu	Fe	**CE**
3,60	2,620	0,055	0,0090	0,170	0,050	0,039	Restante	4,48

Fonte: Fundição Tupy Ltda. **CE** = Carbono Equivalente (CE=%C+1/3%Si).

Os corpos de prova foram cortados transversalmente, a uma distância de aproximadamente 5 mm da extremidade da barra, com o objetivo de descartar a região afetada pela maior velocidade de extração de calor.

Métodos Experimentais

Com o objetivo de conhecer as de início e fim de transformação da austenita (A1i e A1s) foram realizados ensaios de dilatometria. Nesta etapa foi utilizado um Simulador Termomecânico Convencional (Gleeble®3800), instalado no Laboratório Nacional de Luz Síncroton, em Campinas-SP. Foram determinadas as temperaturas inferior e superior da zona crítica (A1i e A1s) e as temperaturas de início de transformação martensítica (Mi) por meio de aquecimento, patamar e resfriamento controlados de corpos de prova do tipo iso-q. Com base na norma ASTM 1033-10, os corpos de prova foram aquecidos até 700°C (±5°C) a uma taxa de 10°C/s. A partir de 700°C a taxa de aquecimento foi de 0,47°C/min (0,008°C/s) até 900°C (±5°C), com tempo de permanência em patamar de 5 minutos, seguido de resfriamento até a temperatura ambiente a uma taxa de 100°C/s (tempo total de ensaio aproximadamente igual a 7h30min).

Para os tratamentos térmicos de austêmpera foram utilizados banhos de sais, uma mistura de nitratos e nitritos de metais alcalinos, com composição química referenciada na tabela 2, fornecida pelo fabricante dos sais. Com temperatura controlada por dois termopares, o primeiro, posiciona-se na parte externa do cadinho e outro, diretamente no banho, para ter um controle preciso da temperatura.

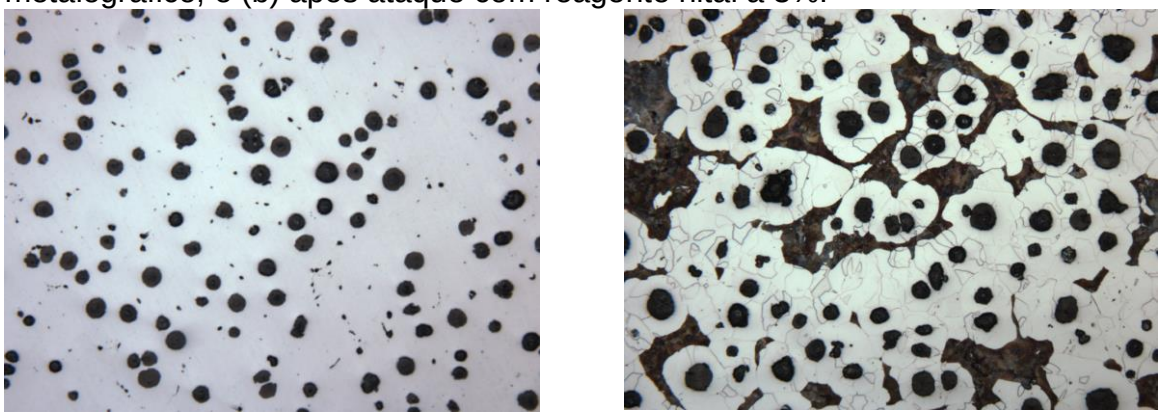
Resultados e Discussão

Caracterização do Estado Bruto de Fundição

ISSN 1676-0093

Imagens da microestrutura do ferro nodular FUCO® na condição como recebido (bruto de fundição) são apresentadas na figura 2, sem ataque metalográfico (2a) e com ataque metalográfico (2b).

Figura 2: Micrografias do ferro nodular no estado bruto de fundição: (a) sem ataque metalográfico; e (b) após ataque com reagente nital a 3%.

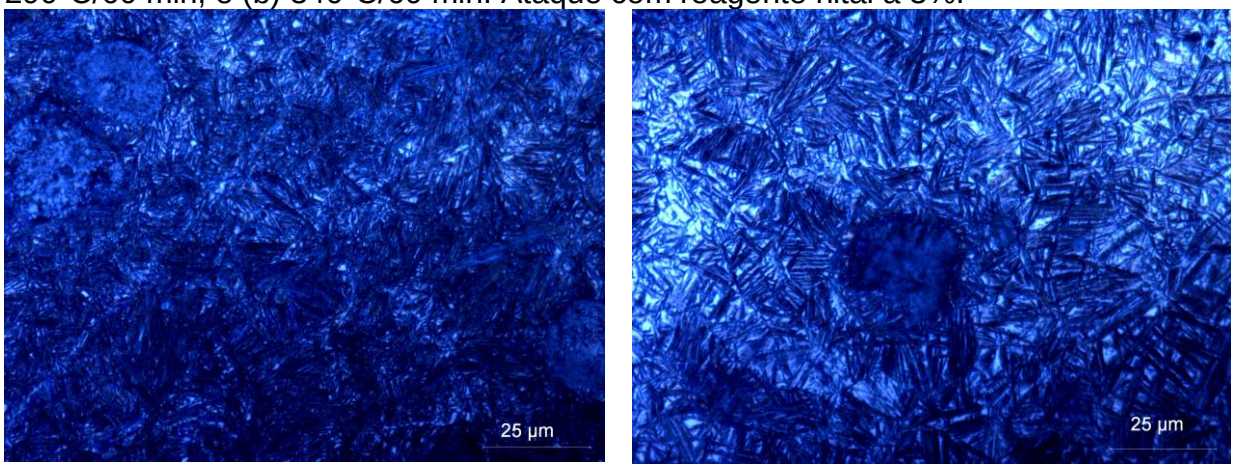


(a) (b)
Fonte: O autor.

Caracterização de Amostras Austemperadas

Exemplos de microestruturas obtidas após os tratamentos térmicos de austêmpera são apresentados na figura 3, para as duas temperaturas utilizadas (290ºC e 340ºC). Basicamente a microestrutura após austêmpera é constituída de agrupamento de feixes de ferrita bainítica (regiões em forma de ripas) e austenita retida (fundo mais claro). Pode-se observar que as microestruturas apresentam diferentes graus de refinamento. A 290ºC (figura 3a) ocorre maior nucleação de ripas de ferrita, que crescem menos, produzindo uma microestrutura consideravelmente mais refinada que a obtida a 340ºC (figura 3b). Na temperatura mais alta ocorre uma menor taxa de nucleação de ripas de ferrita, com maior crescimento devido à maior difusividade.

Figura 3: Micrografias do ferro nodular após tratamentos térmicos de austêmpera: (a) 290ºC/60 min; e (b) 340ºC/60 min. Ataque com reagente nital a 3%.



(a) (b)
Fonte: O autor.

Conclusão/ões

Com base nos resultados apresentados e observações experimentais realizadas, as seguintes conclusões podem ser listadas:

1) O ferro nodular produzido pelo processo de fundição contínua apresenta elevado número de nódulos e grau de nodularização, características fundamentais para a obtenção de ADI de alta qualidade.
2) Os tratamentos térmicos de austêmpera produziram microestruturas com diferentes graus de refinamento. A 290ºC obteve-se microestrutura com agrupamentos de feixes de ferrita bainítica consideravelmente mais refinados que a 340ºC. Esse refinamento teve impacto nos valores de dureza, que foram mais elevados para a menor temperatura de austêmpera.
3) A homogeneidade de microestrutura do FUCO® resultou em pequena variação nos valores de dureza após austêmpera, entre as regiões de contornos de célula dendrítica e nas proximidades dos nódulos, evidenciando menores índices de segregação durante a solidificação.

Agradecimentos

Agradeço à Fundação Araucária pela bolsa de Iniciação Científica e ao Prof. Dr. Marcio Ferreira Hupalo, orientador da pesquisa. Ao Prof. Mestre Selauco Vurobi Júnior, pelo valioso auxílio durante a realização dos tratamentos térmicos.

Referências

[1] GUESSER, W. L. Propriedades mecânicas dos ferros fundidos. São Paulo: Blucher, 2009.
[2] FUCO® - Perfis fundidos. Perfis Tupy. Catálogo técnico – CT 0614. Disponível em <http://www.tupy.com.br/downloads/pdfs/Catalogo_Tecnico_Fuco.pdf > Acesso em: 24, abr. 2018.
[3] CHAENGKHAM, P.; SRICHANDR, P. Continuously cast ductile iron: Processing, structures, and properties. Journal of Materials Processing Technology, v. 211, n. 8, p. 1372-1378, 2011.
[4] ANGELO Jr., E. C.; TORRES, R. D.; GUESSER, W. L. Caracterização de ferros fundidos nodulares produzidos por fundição contínua. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 2., 2002, João Pessoa. Anais. João Pessoa: 2002. p. 1-12.
[5] ANGELO Jr., E. C. Caracterização de ferro fundido nodular obtido por fundição contínua. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba 2003.