

INFLUÊNCIA DO TEMPO DE TRATAMENTO TÉRMICO NA TENACIDADE AO IMPACTO DE FERRO FUNDIDO NODULAR AUSTEMPERADO ¹

Ovídio Richard Crnkovic ²
José Enrique G. Martinez ³
Eliana B. M. Netto ⁴

Resumo

Influência do tempo de tratamento isotérmico na tenacidade ao impacto de ferro fundido nodular austemperado. O ferro fundido nodular austemperado tem suas propriedades mecânicas modificadas quando submetido ao tratamento térmico de austêmpera. O presente trabalho tem como objetivo determinar a janela de tratamento isotérmico a 370°C em função do tempo. Ensaio de tenacidade ao impacto e análise da morfologia da microestrutura ausferrítica foram efetuadas para tempos diferentes de tratamentos isotérmicos.

Palavras-chave: Tenacidade; Ensaio de impacto; Ferro fundido nodular; Austemperado; ADI.

TIME INFLUENCE OF ISOTHERMAL TREATMENT IN THE TENACITY OF IMPACT OF NODULAR CAST IRON

Abstract

The nodular casting austempering has yours mechanical properties modiflicated when submitted on heat treatment of austempering. The present works has as target, determinate the window of treatment at 370°C in function of time. Tests of impact and analyses of morphology ausferrite microstructure was did for different times on isothermal treatment.

Key words: Tenacity; Iimpact test; Austempered ductile iron; Austempered.

¹ *Contribuição técnica apresentada na 61º Congresso Anual da ABM, de 24 a 27 de julho de 2006, Rio de Janeiro – RJ*

² Professor Doutor aposentado da Universidade Federal de São Carlos, Gerente da divisão de tratamento térmico da Micro Química Ind. Com. S.A.

³ Metalurgista, Chefe da produção do setor gás da Brasimet Indústria e Comércio S.A e membro da ABM.

⁴ Mestre em Engenharia Metalúrgica, doutoranda da Escola Politécnica da USP, Gerente do Centro Metalúrgico da Brasimet Comércio e Indústria S.A e membro da ABM.

INTRODUÇÃO

O ferro fundido nodular austemperado é mais conhecido como ADI (abreviatura de Austempered Ductile Iron), é o tipo mais recente a integrar a família dos ferros fundidos nodulares. As propriedades do ADI – elevada resistência mecânica, resistência ao impacto e resistência ao desgaste superiores ou equivalentes aos aços forjados são resultado da interação entre o tratamento de austêmpera e a morfologia da microestrutura obtida que consiste de ferrita acicular e austenita com alto carbono estabilizada, devendo ser livre de ferrita, perlita e martensita. Uma vantagem que apresenta esse tipo de microestrutura é a possibilidade de se produzir aumento local de volume produzido por deformação da austenita estável, criando tensões compressivas na superfície da peça, o que dificulta o crescimento de trincas, melhorando a resistência à fadiga.⁽¹⁾

O ADI vem sendo usado na produção de peças para indústria automotiva, agrícola, ferroviária, sujeitas a altos níveis de exigência, substituindo as peças forjadas e/ou superfícies temperadas. Em componentes que se acoplam, como engrenagens, as rugosidades da superfície são removidas mais rapidamente durante o uso, dispensando o ajuste final comumente usado nas peças de aço.⁽²⁾

A estrutura do ferro fundido nodular austemperado já recebeu diversos nomes. Quando foi vista pela primeira vez, imaginou-se que ela seria bainítica, como a do aço.⁽³⁾ Recentemente, foi denominada de ausferrita que consiste em ferrita acicular e austenita, enquanto a bainita é composta de ferrita e carbonetos. Em 1992, o termo ausferrita se tornou um padrão de nomenclatura para o ADI, de acordo com a norma ASTM A644-96.⁽⁴⁾

Os parâmetros para produzir um ferro fundido de qualidade em nodular austemperado são os mesmos para produzir peças fundidas em nodular. Peças com espessuras maiores que 18mm, adiciona-se Cu, Ni, Mo individualmente ou combinados para aumentar a temperabilidade, evitando a formação de ferrita ou perlita. A exigência quanto à distribuição de nódulos é de no mínimo 150 módulos/ mm², nodularidade acima de 85% e matriz de preferência perlítica.

A temperatura de austenitização é função da composição química, ficando entre 825 e 950°C. A peça permanece nesta temperatura o tempo suficiente para saturar a austenita com carbono até o teor de equilíbrio.

Quando a peça está totalmente austenitizada e a matriz saturada de carbono, resfria-se a mesma, rapidamente, até a temperatura de austêmpera desejada (intervalo entre 230 e 400°C) e o tempo de maturação varia de 30 minutos a 4 horas, dependendo da espessura da peça até total transformação e posteriormente é resfriada ao ar até a temperatura ambiente. Nesta etapa a alta velocidade de resfriamento é importante para evitar a formação de ferrita e perlita.⁽⁵⁾

Após a transformação isotérmica, a austenita pode apresentar-se como austenita de alto-carbono, com estabilidade térmica e mecânica e como austenita de baixo carbono, que é instável, podendo se transformar em martensita no resfriamento ou sob aplicação de tensão ou deformação. Além do tipo de austenita podem surgir estruturas indesejáveis devido a falhas na obtenção da peça fundida ou durante o tratamento térmico, tais como, carbonetos, ferrita pró-eutetóide, perlita, bainita e martensita.⁽⁵⁾

Vários autores têm procurado achar os tempos de início e fim do tratamento de austêmpera, sendo definido como janela de processo baseando-se principalmente na

variação das propriedades mecânicas com a temperatura e o tempo de austêmpera, porém, sem levar em consideração as características microestruturais do material.

Após um determinado tempo inicia-se a segunda etapa da reação através da formação de carbonetos pela liberação de carbono da austenita e o aparecimento de uma estrutura mais refinada e frágil.^(6,7)

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O material fundido no estado bruto de fundição foi obtido a partir da fusão da carga metálica composta de 20% de sucata de aço SAE 1010/0,20, 40% de retorno de nodular e 40% de ferro gusa nodular. Foi adotada a temperatura de vazamento de 1360°C e fundidos em forno de indução os blocos “Y” de acordo com a norma ASTM A 536-04, para obtenção de corpos de prova para os ensaios de impacto.⁽⁸⁾ A análise da composição final da liga foi efetuada em espectrômetro de emissão ótica, marca Spectrolab, conforme resultado obtido Tabela 1.

Tabela 1. Composição Química

<i>Elemento</i>	<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Mg</i>	<i>Cu</i>
% em peso	3,60	2,66	0,28	0,06	0,011	0,038	0,25

Os corpos de prova sem entalhe tipo Charpy para o ensaio de impacto foram obtidos a partir dos blocos “Y”.

A máquina utilizada foi uma Instron Wolpert, instrumentada, modelo PW30 e os ensaios realizados à temperatura ambiente conforme norma ASTM E 23-98.⁽⁹⁾

A microestrutura obtida no estado bruto de fusão foi predominantemente perlítica, com regiões ferríticas envolvendo os nódulos de grafita. O tamanho dos nódulos encontrados foi de 6 e 7, 198 nódulos por mm² sendo 85% do tipo I, 15% do tipo II, segundo a norma ASTM 247-98.

Os tratamentos térmicos de austêmpera nos corpos de prova tipo Charpy foram realizados da seguinte maneira: austenitização a 900°C durante 1 hora em forno de banho de sais neutro; transferência para o forno de austêmpera em banho de sais neutro a 370°C. Em seguida os corpos de prova foram retirados em tempos de 15, 30,60,120,180 e 240 minutos. Foram utilizados 3 corpos de prova para tempo de tratamento.

A seguir foi realizado ensaio de impacto a temperatura ambiente, ensaio de dureza Brinel Ø 2,5mm, carga de 187,5 kg tanto na superfície como no núcleo dos corpos de prova fraturados e posteriormente análise metalográfica para evidenciar a morfologia das microestruturas, também na superfície e no núcleo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos ensaios de impacto são apresentados na Tabela 2 para os 3 corpos de prova e também o ensaio de dureza Brinell.

Tabela 2. Resultados dos ensaios de impacto e dureza

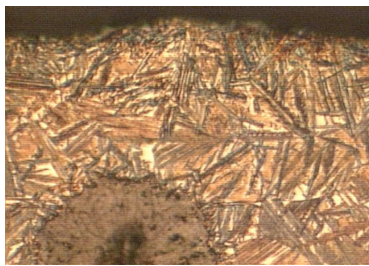
Ensaio de dureza HB Ø 2,5 mm – 187,5 Kg			
Tempo de processo	Amostra	Dureza HB	
		Região	
		Superfície	Núcleo
Sem tratamento	11,7 J	232	225
	6,7 J	228	230
	8,8 J	230	233
15'	37,5 J	406	431
	46 J	418	405
	66 J	418	418
30'	98 J	391	394
	126,5 J	394	392
	146 J	391	431
60'	86 J	391	391
	92 J	393	390
	124,5 J	394	394
120'	48 J	394	393
	85 J	394	388
	117 J	394	394
180'	108 J	391	394
	128 J	413	388
	130 J	388	395
240'	108 J	389	389
	114 J	389	389
	150 J	395	383

Observou-se que para tempos curtos de austêmpera os valores de tenacidade ao impacto foram menores, o desvio entre os corpos de prova para um mesmo tempo foi relativamente grande e à medida que o tempo de austêmpera foi aumentado houve aumento da tenacidade. Acredita-se que esse desvio entre os corpos de prova para um mesmo tempo de austêmpera seja devido ao tamanho e quantidade dos nódulos presentes na superfície fraturada. Segundo alguns pesquisadores, para se obter boas propriedades mecânicas é necessário ter em média 150 nódulos por mm². Outros

pesquisadores acreditam que o aumento dos nódulos diminui a tenacidade à fratura por aumentar a quantidade de defeitos. Os valores obtidos no ensaio de dureza ficaram bem próximos tanto na superfície como no núcleo da amostra e não mostraram diferença para tempos maiores de austêmpera.

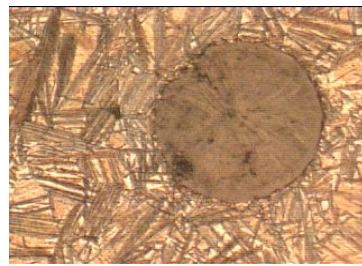
Comparando-se as micrografias da figura 1 tanto na superfície como no núcleo para todos os tempos de austêmpera, nota-se que não houve diferença entre as mesmas e nem refinamento da ausferrita. Também, não se notou nenhuma área de martensita presente.

Marcos e Oliveira⁽¹⁰⁾ através de ensaio mecânico mostraram que para tempo de austêmpera de 225 minutos a 370°C houve diminuição das propriedades com resfriamento da ausferrita tendo início ao segundo estágio da reação.



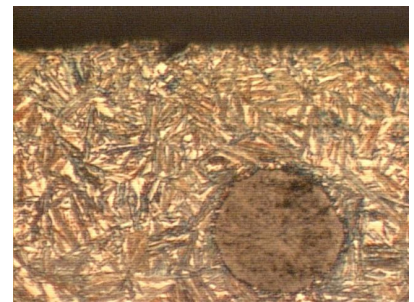
(a)

Tempo de processo: 15' - CP 37,5 J - Aumento: 500 x Superfície Ataque: Nital 3 %



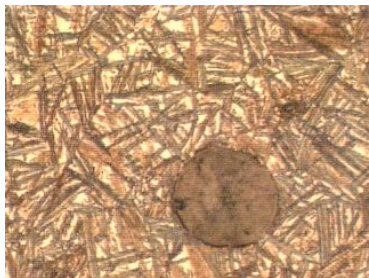
(b)

Tempo de processo: 15' - CP 37,5 J - Aumento: 500 x Núcleo - Ataque: Nital 3 %



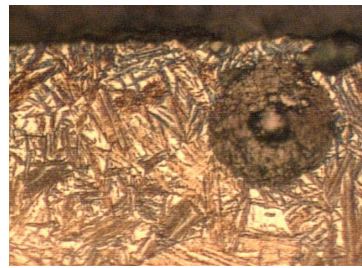
(c)

Tempo de processo: 30' - CP 146,0 J - Aumento: 500 x Superfície - Ataque: Nital 3 %



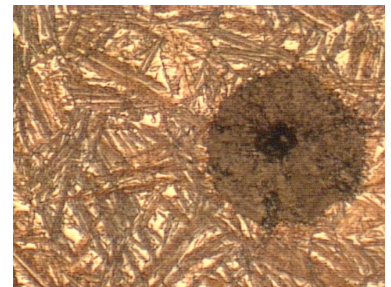
(d)

Tempo de processo: 30' - CP 146,0 J - Aumento: 500 x Núcleo - Ataque: Nital 3 %



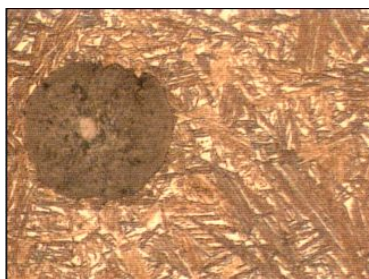
(e)

Tempo de processo: 60' CP 92 J - Aumento: 500 x Superfície - Ataque: Nital 3 %



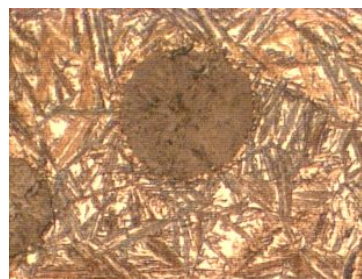
(f)

Tempo de processo: 60' - CP 92 J - Aumento: 500 x Núcleo - Ataque: Nital 3 %



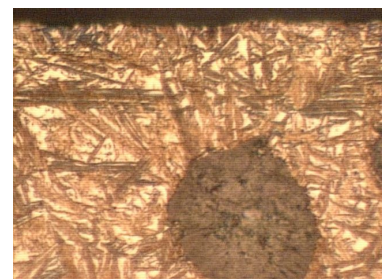
(g)

Tempo de processo: 180' - CP 130,0 J - Aumento: 500 x Núcleo - Ataque: Nital 3 %



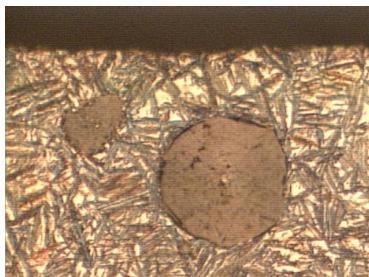
(h)

Tempo de processo: 120' - CP 117,0 J - Aumento: 500 x Núcleo - Ataque: Nital 3 %



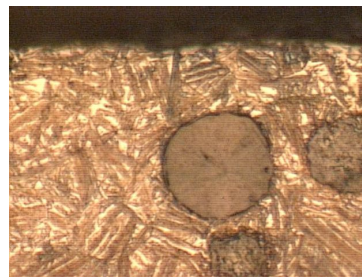
(i)

Tempo de processo: 180' CP 130,0 J - Aumento: 500 x Superfície - Ataque: Nital 3 %



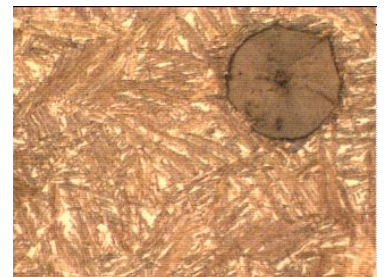
(j)

Tempo de processo: 120' - CP 117,0 J - Aumento: 500 x Superfície - Ataque: Nital 3 %



(l)

Tempo de processo: 240' - CP 150,0 J - Aumento: 500 x Superfície - A Nital 3 %



(m)

Tempo de processo: 240' - CP 150,0 J - Aumento: 500 x Núcleo - Ataque: Nital 3 %

Figura 1. Fotomicrografia

CONCLUSÕES

Os resultados dos ensaios de tenacidade do impacto mostram valores crescentes de tenacidade tendendo a estabilizar para tempos de austêmpera de 180 e 240 minutos, não evidenciando o final da janela de processo.

Os resultados de dureza e análise da microestrutura não são suficientes para controlar as melhores propriedades mecânicas da estrutura ausferrítica. Sendo assim, também não é possível diferenciar ausferrita estável de metaestável.

Agradecimentos

Os autores agradecem as empresas Brasimet e Micro Química pela realização do trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 Croker, M. ADI é uma alternativa para as fundições de ferro fundido nodular.
- 2 Fundição e Serviços, nº 69, set. 1998, p. 18-22.
- 3 Zimba, J., SIMBI, D.J. and Navarra, E. Austempered ductile iron: an alternative material for earth moving components. Cement and Concrete composites, vol. 25, Issue 6, 2003, p. 643-649.
- 4 Patatunda, S.K. and Gadicheira P.K. Effect of austempering time on mechanical properties of a low manganese austempered ductile iron. Journal of Mat. Eng. And Performance, 2000, v.9, p. 193-203.
- 5 American Society for testing and Materials ASTM A644-96. Standard Terminology Relating to Iron Castings. West Conshohocken, ASTM, 2000.
- 6 Hasse, S – ADI, um material ideal para a produção de peças com paredes espessas. Giesslerel Práxis, edição 7/19, 1977.
- 7 Achary, J. and Venugopalan, D. Microstructural development and austempering Kinetics of ductile iron during thermomechanical processing.
- 8 Met. And Mat. Transactions A, vol. 31A, oct. 2000, p. 2575 – 2585.
- 9 Chen, C. T. and Lei, T.S. The processing window for austempering ductile iron. Material Transactions, JIM, nº 1, V. 40, 1999, pg 82-85.
- 10 American Society for Testing and materials – ASTM A536-04. Standard Specification for Ductile Iron, Castings. West Conshohocken, ASTM, 2001.
- 11 American Society for Testing and Materials – ASTM E23-98. Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials. West Conshohocken, ASTM, 2000.
- 12 Marcos E. Balzer e C.A.S.Oliveira. Determinação da Janela de Processo de um Ferro Fundido Nodular Austemperado (ADI) sem Adição de Elementos de Liga Através de Ensaios Mecânicos e Metalográficos. I Conferência Brasileira sobre Técnicas de Tratamento Térmico, 2002