

# INFLUÊNCIA DO TEMPO DE TRATAMENTO TÉRMICO NA TENACIDADE AO IMPACTO DE FERRO FUNDIDO NODULAR AUSTEMPERADO <sup>1</sup>

Ovídio Richard Crnkovic <sup>2</sup>  
José Enrique G. Martinez <sup>3</sup>  
Eliana B. M. Netto <sup>4</sup>

## 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; limpact test; Austempered ductile iron; Austempered.

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

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

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

<sup>4</sup> 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.<sup>(1)</sup>

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.<sup>(2)</sup>

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.<sup>(3)</sup> 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.<sup>(4)</sup>

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/ mm<sup>2</sup>, 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.<sup>(5)</sup>

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.<sup>(5)</sup>

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.<sup>(6,7)</sup>

## 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.<sup>(8)</sup> 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.<sup>(9)</sup>

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 mm<sup>2</sup> 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

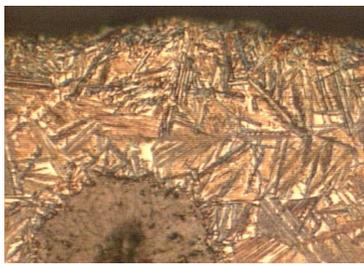
<b>Ensaio de dureza HB Ø 2,5 mm – 187,5 Kg</b>			
<b>Tempo de processo</b>	<b>Amostra</b>	<b>Dureza HB</b>	
		<b>Região</b>	
		<b>Superfície</b>	<b>Núcleo</b>
<b>Sem tratamento</b>	11,7 J	232	225
	6,7 J	228	230
	8,8 J	230	233
<b>15'</b>	37,5 J	406	431
	46 J	418	405
	66 J	418	418
<b>30'</b>	98 J	391	394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

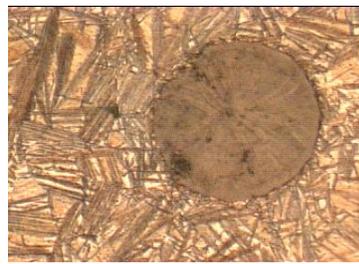
Comparando-se as micrografias da figura 1 tanto na superfície como no núcleo para todos os tempos de austêmpera, nota-se que não houve diferença entre as mesmas e nem refinamento da ausferrita. Também, não se notou nenhuma área de martensita presente.

Marcos e Oliveira<sup>(10)</sup> 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.



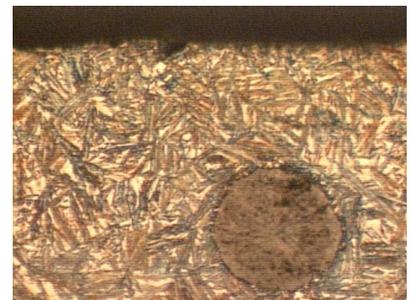
(a)

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 %



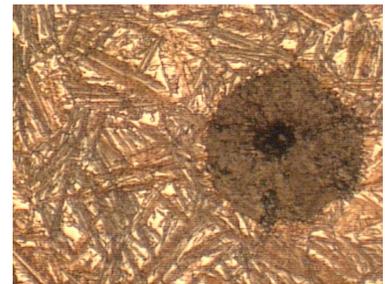
(d)

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 %



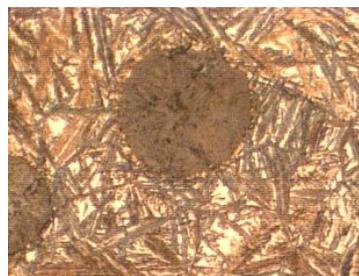
(f)

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



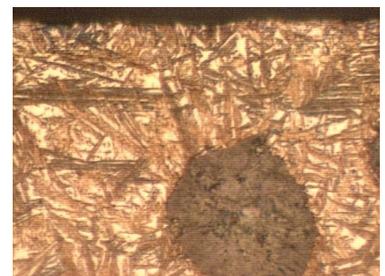
(g)

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



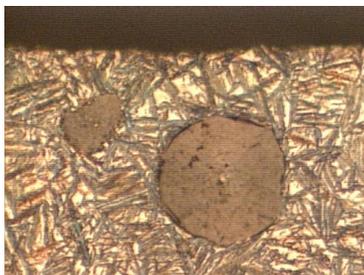
(h)

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



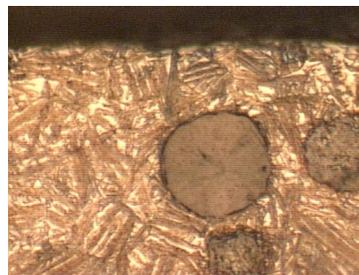
(i)

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



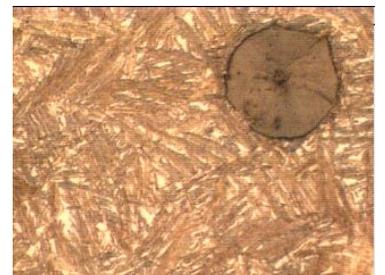
(j)

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