

FALHA CATASTRÓFICA EM AÇOS FUNDIDOS DE BAIXA LIGA E BAIXO CARBONO BENEFICIADOS DEVIDO A PRESENÇA DO ALUMÍNIO RESIDUAL

Guilherme Marconi Silva¹

Resumo

Este artigo apresenta uma análise de falha realizada em um conjunto de quatro roletes de aço fundido de baixa liga e de baixo carbono, pesando duas toneladas cada, que apresentou falha catastrófica ao iniciar sua operação. Todas as peças se partiram de modo extremamente frágil, nas primeiras horas de trabalho, levando à paralisação completa do equipamento até a reposição de novas peças. Este estudo serviu para evidenciar que materiais nesta faixa de composição química, tratados termicamente por têmpera e revenimento, podem ter o comportamento comprometido, caso haja alteração no teor residual do elemento alumínio. Esta análise permitiu ainda que se pudesse entender e adequar o processo produtivo de modo a evitar tais ocorrências e também que se esclarecesse o modo de fratura das amostras.

Palavras-chave: Solidificação; Segregação; *Rock Candy*; Fragilidade; Nitreto de alumínio.

CATASTROPHIC FAILURE OF LOW ALLOY CAST STEEL QUENCHED AND TEMPERED DUE TO ALUMINUM NITRIDE.

Abstract

This paper shows the effect of residual amount of Aluminum in Low Alloys Cast Steels. This evaluation would be used to confirm that materials with the same production process or chemical composition can have an completely different behave in service if the presence of Aluminum reach certain values above a limits close to 0,10%. In this case a heavy wheel failed catastrophically at the beginning of the work. After that we could understand how the process could be handled to avoid the poor performance of parts like that.

Key words: Solidification; Segregation; Rock Candy; Brittleness; Aluminum nitride

¹ *Contribuição técnica ao 63º Congresso Anual da ABM, 28 de julho a 1º de agosto de 2008, Santos, SP, Brasil*

² *Engenheiro Mecânico MSc – Doutorando em Engenharia Mecânica pela UFMG – Consultor de Empresas; Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Mecânica do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais CEFET-MG. – Belo Horizonte MG e-mail guilherme.marconi@terra.com.br*

1 INTRODUÇÃO

A utilização do alumínio como desoxidante para aços é uma prática comum em todo o mundo. A presença do alumínio residual em teores acima de 0,08% pode significar alteração de propriedades mecânicas (ASTM A 703),^[1] fazendo com que, muitas vezes, projetos de desenvolvimentos de peças sejam abandonados por não terem sido avaliados com a devida profundidade ou método de análise.

O conhecimento das propriedades, dos processos e dos materiais para construção mecânica, devido a grande diversidade e à constante evolução da tecnologia, na maioria das vezes, não está disponível aos profissionais envolvidos com a utilização ou aplicação de equipamentos e peças fundidas.

Características do processo de fabricação, como por exemplo, tempo e temperatura de vazamento, condições de solidificação, bem como, o teor residual de alumínio podem não ser observadas pelos usuários de peças fundidas, que na maioria das vezes não acompanham o processo nas fundições. O estudo deste caso, aqui apresentado, tem por objetivo alertar e divulgar a todos os envolvidos com processos de fundição de aços e usuários de peças fundidas em aço, que a presença de elementos residuais pode e deve ser considerada sempre que se fizer algum tipo de especificação ou seleção de materiais e componentes, nas etapas de projeto ou desenvolvimento, ou mesmo, em casos de falhas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Solidificação dos Metais

A questão de como o metal líquido se solidifica é de grande interesse, particularmente, devido à opacidade dos mesmos. Não somente é de grande interesse como também é fundamental o conhecimento dos mecanismos de solidificação dos materiais metálicos na obtenção de propriedades adequadas. Sabe-se que defeitos de fundição ocorridos durante os processos iniciais de solidificação permanecem no produto final, desta forma, os mecanismos de solidificação devem ser conhecidos antes de tudo.

A Figura 1^[2] apresenta esquematicamente a textura de lingotes solidificados, contendo basicamente dois tipos de grãos: colunar e equiaxial. Na Figura 1(a) tem-se um lingote com textura completamente colunar, na 1(b) uma região equiaxial central envolvida por uma zona de grão colunar, em 1(c) tem-se uma pequena região superficial com grãos equiaxiais (zona coquilhada ou de resfriamento muito rápido), uma outra zona de grãos colunares e, no centro, grãos equiaxiais, na 1(d) textura completamente equiaxial.

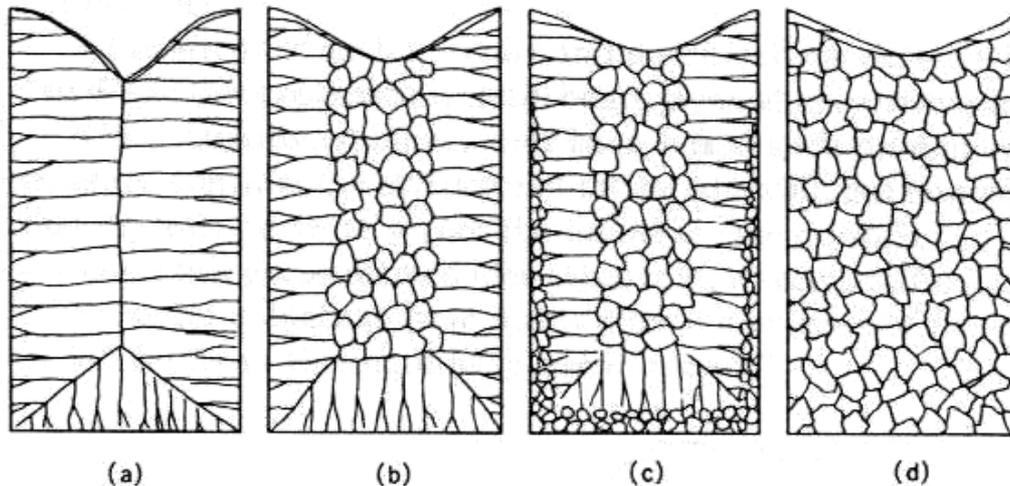


Figura 1 Esquema de macroestrutura de lingotes fundidos.

Em geral, quanto mais impuro é o material e menor for a temperatura de vazamento do mesmo, mais se favorece ao aparecimento de grãos equiaxiais. E quanto maior for a temperatura de vazamento mais se favorece ao aparecimento dos grãos colunares. A capacidade de resfriamento do molde afeta imensamente a estrutura fundida.

A solidificação dos metais ocorre pela formação de dendritas que é uma cristalização em braços primários e a partir destes formam-se braços secundários e assim sucessivamente, assemelhando-se a uma árvore e seus galhos, e que crescem à medida que a interface sólido/líquido se movimentam. Este movimento pode ser por diferença de pressão, temperatura ou solubilidade. Desta forma, os grãos, sejam eles colunares ou equiaxiais, criarão entre si uma região segregada, denominada região inter-dendrítica, cuja composição química é diferente daquela da dendrita, nucleada inicialmente, nestas regiões, todas as impurezas, materiais insolúveis ou materiais de menor ponto de fusão se concentrarão.

2.2 Rock Candy

Desde quando o alumínio passou a ser usado como desoxidante para aços os fundidores sempre se viram às voltas com um tipo de fratura frágil dos fundidos, conhecido pelo nome em inglês “Rock Candy”.

Lorig e Elsea^[3] em 1947 apontaram o nitreto do alumínio como o maior culpado por este fenômeno. A partir daí muito se estudou sobre este assunto. De acordo com Dutcher^[4] no Relatório Especial N° 12 publicado em 1975 pelo SFSA (Steel Founder’s Society of America) existem no mínimo seis possíveis causas para este fenômeno denominado “Rock Candy”:

- Precipitação de Nitretos complexos de alumínio
- Precipitação de Carbonetos de Boro
- Precipitação de Boretos
- Precipitação de Carbonetos Complexos
- Rede de Ferrita contendo Carbonetos
- Precipitação de Sulfetos

Ainda de acordo com o relatório foram identificados outros fatores que também têm influência na susceptibilidade à fratura intergranular:

- A composição química do aço;

- Variáveis de processo;
- Resistência Mecânica da matriz;
- Distribuição e morfologia dos constituintes fragilizantes;
- Massa e espessura do fundido.

Segundo o SFSA a principal causa de fratura do tipo "Rock Candy" em aços fundidos é a precipitação de Nitretos de Alumínio e na maioria dos casos se limita aos aços de elevada resistência e na condição de Temperados e Revenidos.

De acordo com Fuoco,^[5] quando os teores de alumínio residuais são elevados, geralmente entre 0,05 e 0,08%, durante a etapa de solidificação, ocorre a segregação de parte deste alumínio para os contornos de grãos. Ao mesmo tempo, durante a solidificação ocorre a redução da solubilidade de todos os gases dissolvidos no aço (hidrogênio, oxigênio e nitrogênio), favorecendo sua segregação também para contornos de grãos. A presença simultânea de alumínio e nitrogênio nas regiões de contornos de grãos facilita a precipitação de nitretos de alumínio que fragilizam estes contornos. O mecanismo de segregação de alumínio e de nitrogênio torna-se mais pronunciado à medida que crescem os tamanhos dos grãos, ou seja, com menores velocidades de solidificação (peças mais espessas) maior será a segregação e maior a probabilidade de precipitação de nitretos de alumínio, conforme mostrado no ábaco da Figura 2.

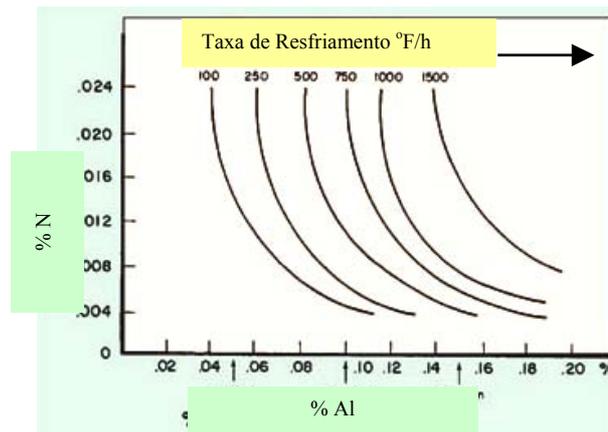


Figura 2 - Correlação entre os três fatores que causam a fragilização por nitreto de alumínio.^[5]

A precipitação de nitretos de alumínio pode ser avaliada de acordo com a norma ASTM que, através do ataque a quente em solução aquosa de HCl 1:1 de uma peça fundida, evidencia um aspecto da superfície resultante, que deve ser comparado às referências fotográficas, contendo dez níveis de severidade de estruturas em rede, intergranulares, indicativas da presença de nitretos de alumínio ou outros precipitados nos contornos de grão durante a solidificação como mostrado na Figura 3.

Peças fundidas que apresentarem um ataque exibindo uma rede intergranular superior ao nível quatro de severidade devem ser consideradas inaceitáveis.

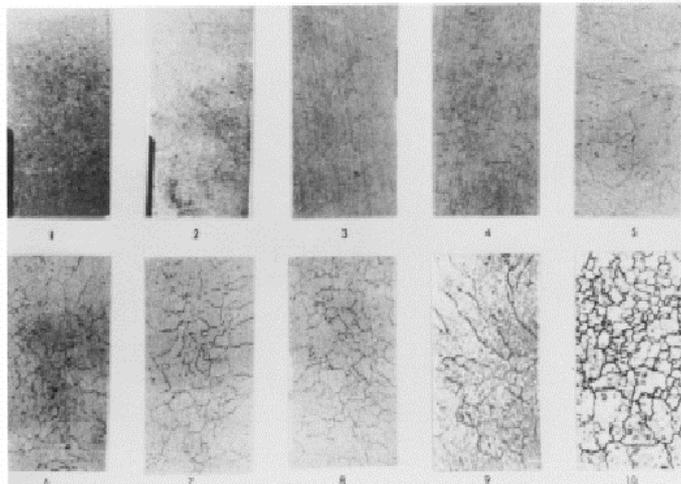


Figura 3 – Referência fotográfica da ASTM A 703. [3]

3 METODOLOGIA

Foi utilizada para análise uma parte fraturada da pista de rolamento de uma das peças, mostrada na Figura 4. Esta amostra foi destacada do rolete mecanicamente por impacto e depois submetida ao corte por serra mecânica. A Figura 5 apresenta a parte da amostra utilizada para execução das análises. Foram realizadas as seguintes análises:

- Análise Química via espectrômetro ótico
- Ensaio de Dureza
- Análise Macrográfica
- Análise Micrográfica Ótica
- Análise Micrográfica por Microscópio Eletrônico de Varredura
- Análise Fractográfica.



Figura 4 – Fotografias com três vistas da amostra submetida à análise. Esta amostra foi retirada de um dos quatro roletes fraturados. Nota-se o aspecto frágil da fratura, sem nenhuma deformação plástica. Amostra sem ataque, após lavagem com água e tamanho natural.

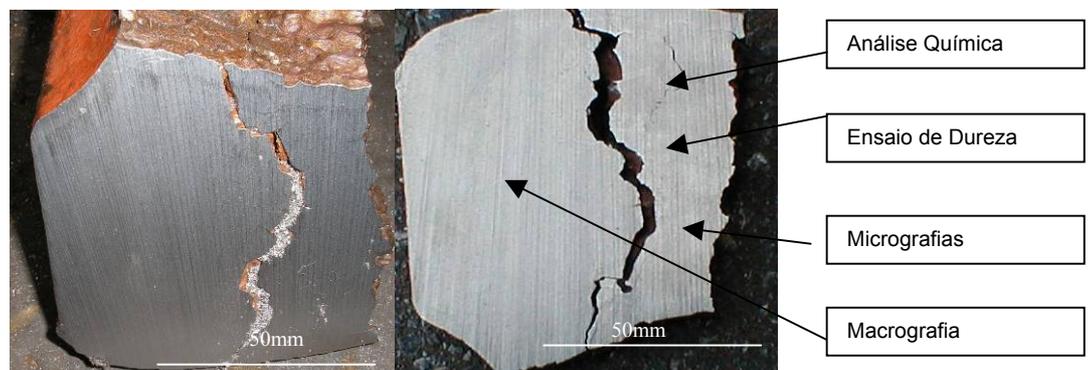


Figura 5 - Fotografia da amostra após corte por serra mecânica evidenciando a localização das áreas analisadas.

4 RESULTADOS ENCONTRADOS

4.1 Análise Química

Elementos	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Al	P	S
%	0,23	0,95	0,64	0,95	0,91	0,42	0,07	0,01	0,02

Carbono Equivalente:

$$\text{Encontrado: } C_{eq} = 0,23 + 0,95/6 + (0,95 + 0,42)/10 + 0,91/20 \Rightarrow C_{eq} = 0,57\%$$

4.2 Ensaio de Dureza

Método: Rockwell Escala: C

Valor encontrado..... **D = 39 HRC***

Conversão conforme ASTM E 140..... **D = 362 HB**

* Valor médio em 05 determinações

4.3 Macrografia

A amostra foi preparada para a análise por meio de corte e lixamento e em seguida foi atacada em solução aquosa de HCl 1:1 à uma temperatura de 80 °C por um tempo de 1 hora. O ataque revelou uma textura bruta de fundição, caracterizada pela presença de células de solidificação e dendritas conforme mostrado na Figura 6.

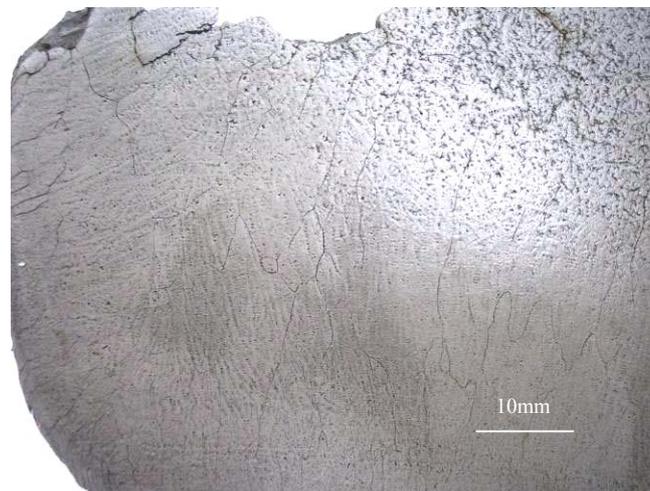


Figura 6 – Fotomicrografia da amostra após ataque em HCl 1:1 a quente. Nota-se o evidenciamento das células de solidificação originais com ataque pronunciado de seus contornos e textura dendrítica.

4.4 Micrografia

A amostra foi preparada para análise por meio de corte, lixamento e polimento e em seguida atacada em solução alcoólica de ácido nítrico (Nital 3%). O ataque revelou a presença de uma microestrutura composta de martensita revenida, característica deste material no estado temperado e revenido. Foi possível perceber a presença de inclusões do tipo óxido globular e trincas intergranulares, como visto na Figura 7.

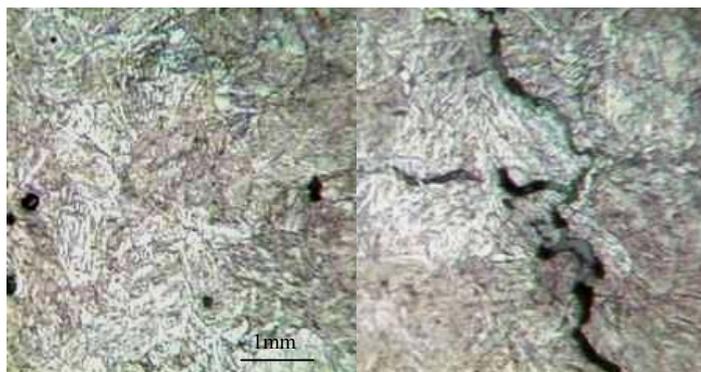


Figura 7 - Fotomicrografia da amostra após ataque com reativo de Nital 3%. Aumento de 400X. Microestrutura composta de Martensita Revenida e algumas inclusões do tipo óxido globular e a presença de uma trinca intergranular, acompanhado os contornos de grão da martensita.

4.5 Microscopia Eletrônica de Varredura

Foram analisadas as faces fraturadas da amostra bem como a superfície polida utilizada na microscopia ótica. A análise da fratura evidenciou um aspecto característico de fratura frágil, conforme evidenciado na Figura 8.

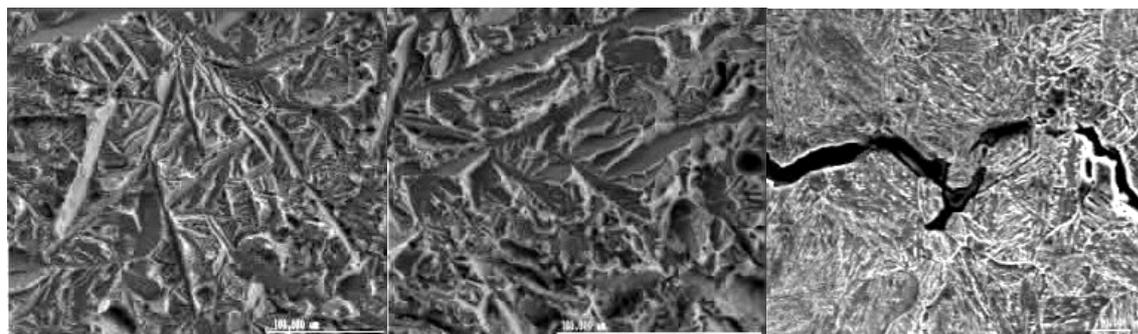


Figura 8 – Fotografia da superfície da fratura observada pelo microscópio eletrônico de varredura. Aparência característica de fragilização por nitreto de alumínio, composta de plaquetas e regiões dendríticas. À direita presença de trinca intergranular

4.6 Análise Fractográfica

A fratura apresentada pela amostra apresenta-se frágil com características típicas da fratura denominada "Rock Candy" exibindo facetas de grãos separados e de grande tamanho Figura 9.



Figura 9 – Fotografia evidenciando o aspecto da fratura da amostra à esquerda e à direita figura típica apresentando a fratura do tipo "Rock Candy".

5 CONCLUSÕES

A caracterização da presença do Nitreto de Alumínio nos contornos das células originais pode ser confirmada por três formas distintas:

- Pelo aspecto característico, visualizado ao Microscópio Eletrônico de Varredura, das morfologias dendríticas e em plaquetas, que são as mais comuns apresentadas pelos nitretos, e que ficam marcadas na superfície da fratura.
- Pela a resposta ao ataque macrográfico, em ácido clorídrico, apresentado pela amostra que, comparada aos padrões ASTM A 703 [1], se classifica entre os Níveis 8 e 9.
- E por último; pelo aspecto visual da fratura que exhibe facetas de grãos separados e de grande tamanho.

A forma geométrica da peça, a grande massa, a espessura caracterizada por grandes seções e a reduzida velocidade de solidificação são fatores que certamente contribuíram para a ocorrência da precipitação dos nitretos que associados à microestrutura martensítica de elevada resistência mecânica favoreceram a acentuada fragilização das peças.

REFERÊNCIAS

- 1 Annual Book of ASTM Standards – Section 1 – Ferrous castings; Ferroalloys – A703 / A703M e A781 / A781M.
- 2 OHNO, ATSUMI - Solidification – The Separation Theory and its Practical Applications – Tokyo 1987.
- 3 LORIG, C. H. ; ELSEA, A. R. – Occurrence of inter-granular fracture in cast steels – Transaction of AFA, 1947, v.55, p. 160-74.
- 4 DUTCHER, D. E. - Understanding “Rock Candy” Fracture in Steel Castings – Modern Castings – v.89, n. 2, February 1999.
- 5 FUOCO,R.- Fratura Intergranular em Peças Fundidas de Aço devido à Precipitação de Nitretos de Alumínio, ABMM, MAIO 2003.