

ANÁLISE DO PROCESSO DE ENVELHECIMENTO DE AÇO PERLÍTICO USADO COMO FIO MÁQUINA¹

Shimeni Baptista Ribeiro ²
Marcos Flávio de Campos ³

Resumo

O Setor de controle de qualidade da fábrica Michelin de reforços metálicos, observou que se um lote de fio máquina permanecesse estocado por alguns dias, não sendo utilizado logo após o seu recebimento, as propriedades para a trefilação eram melhoradas. Não havia, no entanto, nenhum estudo a respeito do tempo exato de envelhecimento necessário, nem a provável causa. Através de ensaios de tração e dureza, executados durante dez dias de envelhecimento a 35°C, e da comparação destes dados com valores teóricos de difusão de elementos no aço, foi evidenciado que átomos intersticiais são os possíveis agentes de envelhecimento, sendo o Nitrogênio ou, ainda, o Carbono os possíveis causadores do fenômeno.

Palavras-chave: Envelhecimento; Aço; Trefilação; Difusão.

ANALYSIS OF THE AGING PROCESS OF PEARLITIC STEEL USED FOR WIRE DRAWING

Abstract

The section of quality control of Michelin, manufacturer of metallic reinforcements, has observed that, if the wire rod was keep in stock for some days, and not used soon after being received, the wire drawing properties would be improved. However, there was no study about the need aging time, and the probable cause of the aging. By means of stress and hardness tests, performed during 10 days of aging at 35°C, and comparing this data with theoretical values of elements diffusion in steel, it was found evidence that interstitial atoms are the possible aging agents, with Nitrogen, or even Carbon, as possible responsible for the phenomenon.

Key words: Aging; Steel; Wire drawing; Diffusion

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

² Graduanda em Engenharia Metalúrgica. EEIMVR- Universidade Federal Fluminense. Av. dos Trabalhadores, 420. Vila Santa Cecília. Tel: 24 33443030, email: shimeni.batista@br.michelin.com

³ Professor. EEIMVR- Universidade Federal Fluminense. Av. dos Trabalhadores, 420. Vila Santa Cecília. Tel: 24 33443030, email: mcampos@metal.eeimvr.uff.br

1 INTRODUÇÃO

A Michelin, fábrica de reforços metálicos, produz o cabo metálico utilizado na composição do pneu, utilizando um aço predominantemente perlítico fornecido pela Belgo Mineira. O processo de trefilação utilizado leva a uma redução de diâmetro de 1,15mm até 0,15mm. Devido a severidade do processo, o controle da qualidade do Fio Máquina é de extrema relevância para o correto funcionamento do sistema produtivo. O nível de tolerância para segregações e inclusões é bastante estreito, bem como as faixas de tolerância de composição química.

Os funcionários pertencentes ao setor de qualidade da empresa observaram que o tempo de estocagem do Fio Máquina influenciava positivamente o processo de trefilação. O fio máquina é estocado em um galpão de lona sem ventilação, formando uma espécie de estufa com temperaturas em torno de 35 °C. Os funcionários passaram a utilizar tempos de envelhecimento de 2 a 10 dias. Não houve nenhum estudo que comprovasse os efeitos do envelhecimento nem fornecesse com precisão o tempo de envelhecimento a ser utilizado. Este presente trabalho deseja verificar a ocorrência ou não de um processo de envelhecimento, e a provável causa.

Este efeito de “envelhecimento benéfico” em fios máquina já havia sido antes observado pela indústria: Foi constatado pela Usina João Monlevade da Belgo Siderurgia que, aumentando o tempo de estocagem no pátio, aumentava também a redução de área na estrição de fio-máquina produzido com aços alto carbono ligados ao cromo e silício.⁽¹⁾ O aço estudado por Marchi⁽¹⁾ apresentava como composição química: (0,5-0,6)%C, (0,6-0,8)%Mn, (1,2-1,6)%Si, (0,6-0,8)%Cr. Enquanto que Marchi⁽¹⁾ atribuiu este efeito a envelhecimento causado por hidrogênio, Hastings e Hereema⁽²⁾ sugeriram que pode ser causado por envelhecimento devido a nitrogênio, ou ainda carbono. Pretende-se neste estudo discutir qual dos átomos intersticiais, carbono, nitrogênio ou hidrogênio, pode ser o responsável por esse efeito.

2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Foram analisadas 9 amostras de fio máquina perlítico com 60 cm de comprimento, seção transversal circular de 5,5mm, com a composição descrita na Tabela 1:

Tabela 1. Composição química do fio máquina

% Al	% C	% Cr	% Cu	% Mn	% Mo	% Ni	% N	% P
0,001	0,717	0,021	0,010	0,568	0,001	0,008	0,002	0,010

Cada amostra foi usinada em três corpos de prova de tração, e também submetida a análise metalográfica. Cada corpo de prova foi identificado e estocado no galpão utilizado para o fio máquina, de forma a manter as condições de envelhecimento de aproximadamente 35°C. Os ensaios foram executados em dias alternados, totalizando dez dias de ensaio em um intervalo de 24 dias.

2.1 Ensaio de Tração

Para o ensaio de tração foi utilizada uma máquina universal de ensaio Zwick 1478, capacitada para ensaios de tração e compressão com capacidade de 50 KN.

2.2 Análise Metalográfica

No período de envelhecimento, foram executadas análises metalográficas de modo a controlar qualquer alteração microestrutural. Durante o período, o fio máquina se manteve com tamanho de grão 8 ASTM, níveis aceitáveis de segregação, além das amostras apresentarem descarbonetação anelar.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultado dos ensaios de tração são apresentados na Figura 1. A Microestrutura das amostras é apresentada na Figura 2, onde pode ser observado que o principal constituinte microestrutural é perlita fina, além de também um pouco de perlita mais grossa e de cementita.

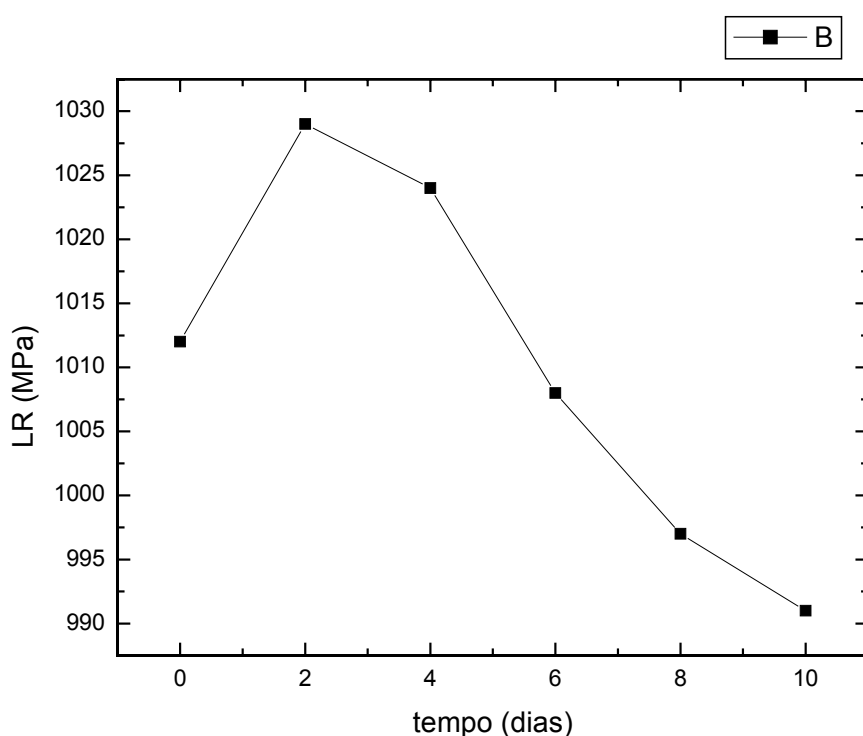
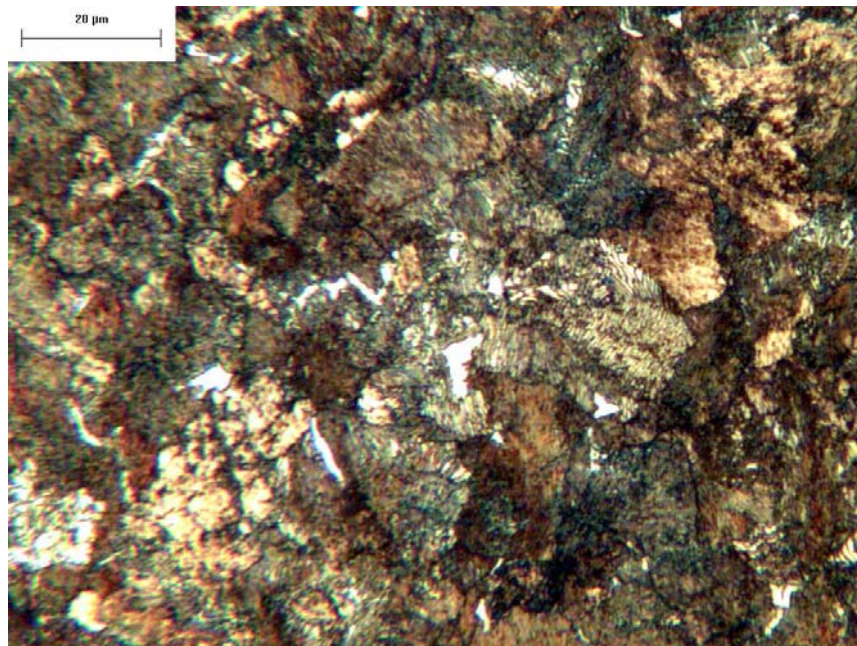
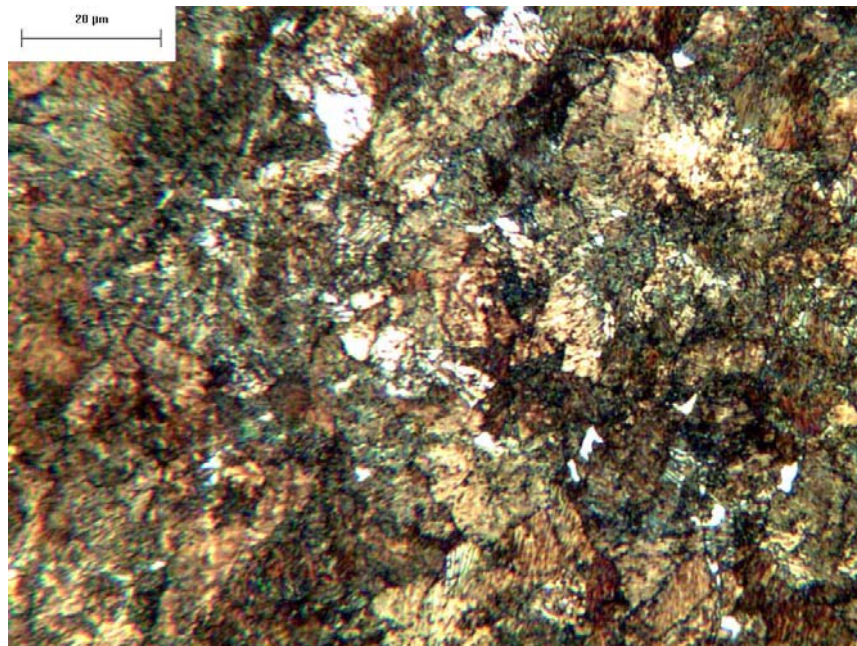


Figura 1. Variação do limite de resistência com o tempo de envelhecimento. Temperatura de envelhecimento = 35°C.



(a) seção longitudinal



(b) seção transversal

Figura 2. Microestrutura das amostras. Ataque Nital 2%.

A Figura 1 indica que o Limite de Resistência caiu, após atingir um máximo para tempo = dois dias. Portanto, os dados confirmam o efeito benéfico do envelhecimento a temperatura ambiente do fio máquina, isso estando em concordância com os poucos estudos encontrados na literatura.^(1,2)

Convém agora discutir quais os mecanismos responsáveis pelo envelhecimento. É provável que o aumento da estrição⁽¹⁾ ou diminuição de LR (Figura 1) é causado por átomos intersticiais migrando de atmosferas de Cottrell para pequenos precipitados. Desta forma, teríamos, seguindo a ordem temporal, os seguintes 3 estágios, com o sistema evoluindo sucessivamente para configurações de menor energia livre:

i) átomos intersticiais em solução sólida

- ii) átomos intersticiais em atmosferas de Cottrell
- iii) átomos intersticiais na forma de Zonas de Guinier-Preston ou de pequenos precipitados.

Ocorreria, assim, um máximo de dureza quando os átomos intersticiais estiverem em atmosferas de Cottrell bloqueando a movimentação de discordâncias (estágio II). Isso talvez explique o máximo de LR encontrado para tempo da ordem de dias (Figura 1). As atmosferas de Cottrell são responsáveis pelo “serrilhado” nas curvas de tensão deformação, às vezes também chamado de escoamento descontínuo.

A questão que surge agora é: Qual o átomo (ou os átomos) intersticial(is) responsável(is) por este fenômeno? Para tanto necessitamos avaliar se as distâncias de difusão são compatíveis com os tempos encontrados experimentalmente. Valores de coeficiente de difusão para átomos intersticiais podem ser encontrados em Leslie⁽³⁾ ou Hosford.⁽⁴⁾] Neste estudo, adotaremos os valores reportados por Leslie,⁽³⁾ que indica $D = 1 \cdot 10^{-16} \text{ cm}^2/\text{s}$ para o Nitrogênio e $D = 1 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$ para o hidrogênio, a temperatura ambiente. A distância média de difusão pode ser encontrada com a equação (1), conforme já discutido em um prévio estudo.⁽⁵⁾

$$d = \sqrt{6Dt} \quad (1)$$

onde: D – Coeficiente de difusão

t – Tempo (s)

d – Distância de difusão (cm)

A Figura 3 indica que distância percorrida pelo nitrogênio é da ordem de $0.1 \mu\text{m}$ em 2 dias, e isso é compatível com distância esperada de migração de discordâncias para ZGP (Zonas de Guinier-Preston).⁽⁶⁾

Por outro lado, a Figura 4 mostra que o hidrogênio pode percorrer grandes distâncias em dois a dez dias (são distâncias da ordem de centímetros), e isso não parece ser compatível com um fenômeno de envelhecimento lento, da ordem de dias, onde os átomos movem-se dentro dos grãos (que são da ordem de $22 \mu\text{m}$, ASTM8), de discordâncias para outros precipitados.

Em suma, o hidrogênio difunde rápido demais para ser responsável por um fenômeno de envelhecimento que leva dez dias para ser completado na temperatura ambiente. Além disso, Oriani e Josephic⁽⁷⁾ concluíram que o hidrogênio não pode imobilizar discordâncias na temperatura ambiente, embora isso possa ocorrer a temperaturas muito baixas, a menos de -100°C .

O carbono possui difusividade próxima à do nitrogênio a temperatura ambiente $D = 3 \cdot 10^{-17} \text{ cm}^2/\text{s}$.⁽³⁾ Embora a difusividade do carbono seja um pouco inferior à do nitrogênio, pela análise cinética o carbono também poderia ser responsabilizado pelo fenômeno (Figura 3). Contudo, presume-se que o carbono encontra-se já precipitado, na cementita pertencente a perlita, e em outros carbonetos, e isso torna menos provável o carbono como o agente deste processo. Ou seja, grande parte do carbono deve estar provavelmente precipitado na forma de carbonetos, e não está em solução sólida, o que é necessário para causar o envelhecimento.

Ferguson⁽⁶⁾ ressalta que a solubilidade do nitrogênio no aço na temperatura ambiente é muito pequena ($\sim 10^{-5}$, em % em peso). Assim, resfriamentos rápidos levam facilmente a uma matriz supersaturada em nitrogênio, onde envelhecimento poderá ocorrer. Ferguson⁽⁶⁾ também aponta que o nitrogênio tem alta difusividade no

ferro-alfa mesmo a temperatura ambiente. Além disso, mostra⁽⁶⁾ que o nitrogênio, em determinadas concentrações, pode provocar por meio de envelhecimento significantes aumento de LR e dureza em aços mesmo a temperatura ambiente, com tempos da ordem de horas ou dias. Isso parece apontar o nitrogênio como possível responsável pelo fenômeno de envelhecimento observado.

Convém acrescentar que, conforme Yamada,⁽⁸⁾ quantidade significativa de nitrogênio pode permanecer em solução sólida na ferrita lamelar da perlita de aços com composição eutetóide. Contudo, o tratamento térmico que leva a formação da estrutura perlitica (denominado 'patenting', em inglês) deve propiciar a precipitação de grande parte do carbono em solução sólida na forma de cementita, e restaria pouco carbono em solução sólida na ferrita lamelar a temperatura ambiente.⁽⁸⁾

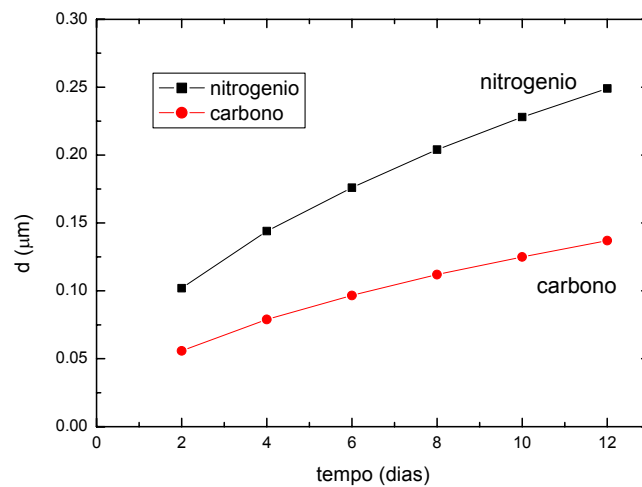


Figura 3. Distância de difusão (d) em função de tempo, para nitrogênio e carbono no ferro-alfa. Temperatura ambiente.

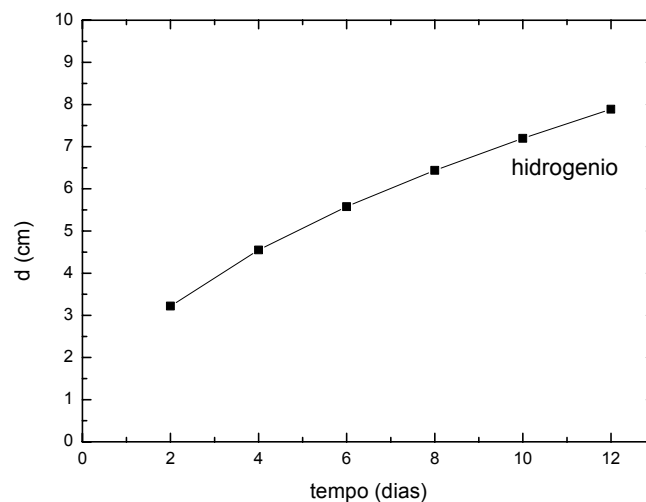


Figura 4. Distância de difusão (d) em função de tempo, para o hidrogênio no ferro-alfa. Temperatura ambiente.

4 CONCLUSÕES

Comprova-se a existência de um efeito de “envelhecimento benéfico” de fios máquina (vários dias a temperatura ambiente). O envelhecimento diminui o LR, aumentando a ductilidade dos fios que irão ser trefilados. A cinética do processo sugere o nitrogênio como possível causador do fenômeno. É possível que o carbono possa também contribuir para esse fenômeno, mas deve ser lembrado que grande parte do carbono deve estar precipitado na forma de carbonetos, não estando necessariamente em solução sólida para causar o envelhecimento.

REFERÊNCIAS

- 1 MARCHI, L. A. Variação da redução de área na estrição com o tempo, em condições isotérmicas, em um aço médio-alto teor de carbono. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais. 2005.
- 2 HASTINGS, P. R.; HEEREMA, J.. Influence of Test Method, Rolling Conditions and Steel Chemistry on Tensile Variation for High Carbon Wire Rod, *The Wire Association International*, p.151-156, May 2001.
- 3 LESLIE, W. C. The Physical Metallurgy of Steels. McGraw-Hill, New York, 1981, p. 79.
- 4 HOSFORD, W. F. Physical metallurgy. CRC Press, Boca Raton, 2005, p. 55.
- 5 CAMPOS, M. F. de; RIOS, P. R. Kinetical analysis of the heat treatment procedure in SmCo_5 and other rare-earth transition-metal sintered magnets. *Journal of Alloys and Compounds* v. 377, p. 121–126, 2004.
- 6 FERGUSON, P. Mechanical properties of Nitrogen-Ferrite. *Metalurgical Transactions A*, v. 16A, p. 45-50, 1985.
- 7 ORIANI, R. A.; JOSEPHIC, P. H.. Effects of Hydrogen on the Plastic Properties of Medium-Carbon Steels. *Metallurgical Transactions A*, v. 11A, p. 1809-1820.
- 8 YAMADA, H. Static Strain Aging of Eutectoid Carbon Steel Wire. *Tetsu-to-Hagane*, v. 60, n. 12, p. 1624-1638, 1974.