

ESTUDO DO ENVELHECIMENTO PÓS DEFORMAÇÃO À FRIO EM AÇO CARBONO*

Wesley Pereira de Miranda¹
Rafaella Martins Ribeiro²

Resumo

O objetivo do estudo é avaliar o efeito do teor de elementos intersticiais no envelhecimento por deformação do aço ao carbono SAE 1010 submetido ao processo de laminação a frio para a produção de vergalhão. Foram selecionadas duas bobinas de fio-máquina, emprego para a produção do CA-60, com teores distintos de elementos intersticiais. As bobinas foram processadas no laminador a frio para a produção do vergalhão CA-60 Reto bitola 5 mm e o envelhecimento foi avaliado através de variações no limite de escoamento obtidos por ensaio de tração uniaxial, realizados em tempos distintos após a deformação. A composição com alto teor de elementos intersticiais apresentou aumento significativo do limite de escoamento com o tempo quando comparada com a bobina com teores mais baixos desses elementos. Esta última, no período de acompanhamento não mostrou variação expressiva. A análise quantitativa, através de ensaios massivos para cada condição pode ser uma ferramenta útil para estudar o fenômeno

Palavras-chave: Envelhecimento por deformação; Laminação à frio; Limite de escoamento.

STRAIN AGING AT AMBIENT TEMPERATURE

Abstract

The aim of the project is to analyze the effect of interstitial elements regarding to strain aging in the cold rolling manufacturing process in order to produce rebars. The study was carried out by choosing two coils of steel wire 7 mm diameter SAE 1010 with different chemical composition to produce 5 mm rebars. One of the coils with high concentration of interstitial elements and another one with low concentration. The high interstitials elements chemical composition had the most significant variation on yield strain while the low interstitials elements chemical composition didn't show significant variation. The quantitative analyse could be a useful tool to characterize the phenomenon.

Keywords: Strain aging; cold rolling; yield strain.

¹ Engenharia de Materiais, Graduando, Estagiário Universitário, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

² Engenheira Metalúrgica, Doutora, Professora do Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais – COPPE / UFRJ, RJ, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

O vergalhão é um componente estrutural utilizado na construção civil. Este produto é regulamentado pela norma ABNT NBR 7480 e pode ser classificado nas categorias CA-25, CA-50 e CA-60 com limite de escoamento mínimo de 250, 500 e 600 MPa respectivamente. A norma determina diversos requisitos, desde características gerais, como configuração geométrica das barras, massa e comprimento com suas respectivas tolerâncias, modo de fazer a encomenda até propriedades mecânicas de tração, dobramento e soldabilidade [1].

O fio-máquina, utilizado como matéria prima na confecção do CA-60 Reto, é produzido por laminação a quente de produtos longos e não possui nervuras. Este material apresenta grãos recristalizados devido ao método de processamento. O CA-60 Reto em contrapartida é fabricado por laminação a frio. Este método de conformação utiliza o mecanismo de encruamento para garantir as propriedades mecânicas do produto final. O encruamento ocorre quando o material é conformado abaixo da temperatura de recristalização, com aumento expressivo da densidade de discordâncias e alongamento dos grãos no sentido axial. As discordâncias são responsáveis pelo aumento da resistência mecânica e certa redução na ductilidade, enquanto os elementos intersticiais como o nitrogênio e carbono podem promover o fenômeno de envelhecimento por deformação.

O mecanismo exato de envelhecimento por deformação ainda é um tema controverso, embora grande parte dos estudos concordem que em determinadas situações o envelhecimento ocorra devido ao bloqueio das discordâncias em função da difusão de carbono e nitrogênio em solução sólida. A discussão é proveniente da diferença nos valores encontrados para a energia de ativação nos diferentes estudos. Os valores de referência normalmente adotados para a energia de ativação do carbono e nitrogênio na ferrita são $83,5 \pm 1,5$ kJ/mol e $77,2 \pm 1,0$ kJ/mol respectivamente [2].

Neste trabalho, serão utilizadas duas bobinas de aço ao carbono SAE 1010 oriundas de aciaria elétrica. Uma destas com baixo teor de elementos intersticiais e outra com alto teor de elementos intersticiais dentro da faixa de composição química permitida. O fenômeno de envelhecimento por deformação será analisado por ensaio de tração, sendo este conduzido segundo a norma regulamentadora NBR ISO 6892 [3].

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Na condução do estudo foram utilizadas duas bobinas de fio-máquina com diâmetro de 7 mm e com composições distintas, assim como mostram as tabelas 1 e 2:

Tabela 1. Composição com baixo intersticial

Elemento	C	Cr	Cu	Mn	Nb	Ni	P	S	Si	Sn	V	N
(%wt)	0,085	0,08	0,128	0,44	0	0,06	0,03	0,021	0,09	0,022	0	0,0063

Tabela 2. Composição com alto intersticial

Elemento	C	Cr	Cu	Mn	Nb	Ni	P	S	Si	Sn	V	N
(%wt)	0,095	0,05	0,120	0,44	0	0,04	0,018	0,017	0,11	0,017	0	0,0080

A composição química da tabela 1 com baixo teor de elementos intersticiais (carbono e nitrogênio) será chamada de CQ1 e a composição da tabela 2 com alto teor de elementos intersticiais será chamada de CQ2.

O CA-60 foi produzido no laminador à frio. A máquina possui dois passes de redução, sendo o conjunto denominado cassete, os quais são equipados com discos responsáveis pela conformação do fio-máquina. No primeiro passe ocorre apenas a redução da seção transversal do fio-máquina, enquanto no segundo, além da redução da seção transversal ocorre também a impressão de nervuras e logotipo através do desenho em negativo na cavidade dos canais de laminação. Após a impressão de nervuras e logotipo, existe um duto de resfriamento para reduzir a temperatura do material, que em seguida passa por uma sequência de rolos para endireitamento, dando origem assim ao CA-60 Reto. A velocidade de laminação é de aproximadamente 5 m/s na saída da máquina. Neste trabalho, foram estudados os vergalhões com 5 mm de diâmetro.

No intuito de avaliar se estes materiais estão sujeitos ao envelhecimento, amostras foram coletadas em diferentes tempos a partir do dia que o vergalhão foi produzido e as propriedades mecânicas foram obtidas através de ensaios de tração uniaxial a temperatura ambiente. A máquina utilizada para ensaio de tração é uma Tinius Olsen SuperL/602 e o extensômetro é um modelo LSM-4%-50 equipado com um condicionador de sinal 602 LVDT para leitura do deslocamento do extensômetro. O software Horizon converte o sinal recebido em curva tensãoxdeformação. Devido as características da máquina e do extensômetro, a curva é adquirida até a deformação de aproximadamente 0,8%, sendo necessário remover o extensômetro em seguida. Para cada condição analisada foram realizados três testes.

2.2 Ensaio de Tração

As figuras 1 a 6 apresentam as curvas tensão x deformação para os vergalhões de composições CQ1 e CQ2 para diferentes tempos a partir da data da produção.

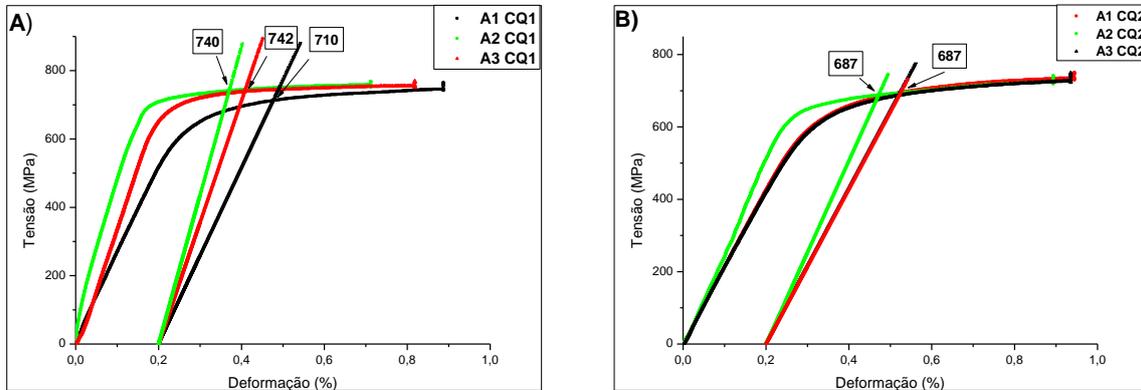


Figura 1 – Condição 1 (zero dias em estoque) A) composição da tabela 1 (CQ1) B) Composição da tabela 2 (CQ2)

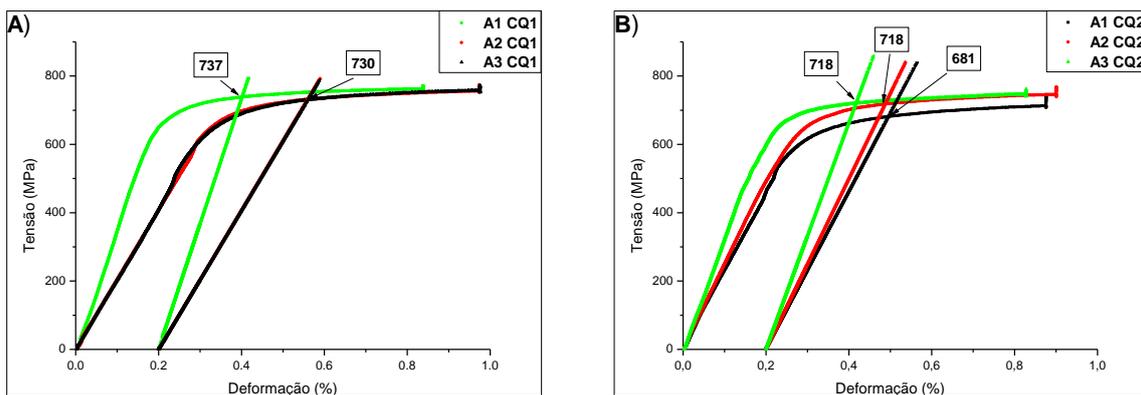


Figura 2 - condição 2 (3 dias em estoque) A) composição da tabela 1 (CQ1) B) composição da tabela 2 (CQ2)

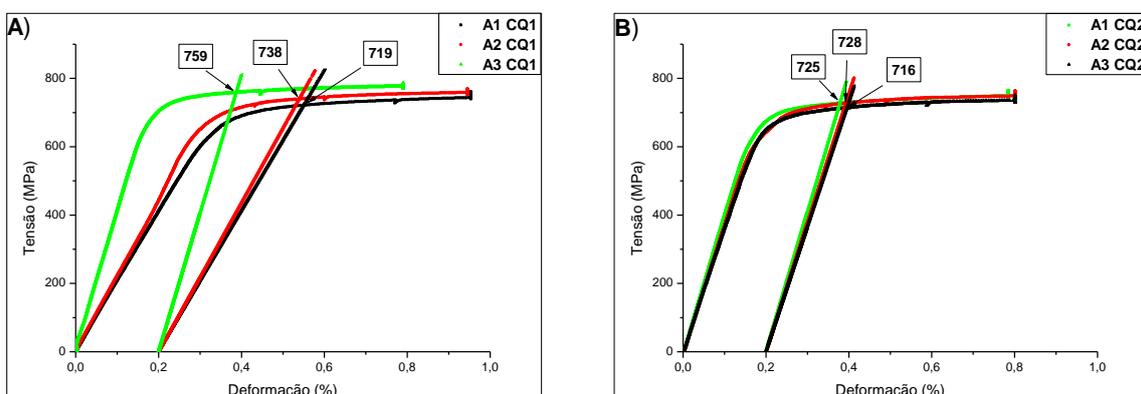


Figura 3: condição 3 (seis dias em estoque) A) composição da tabela 1 (CQ1) B) composição da tabela 2 (CQ2)

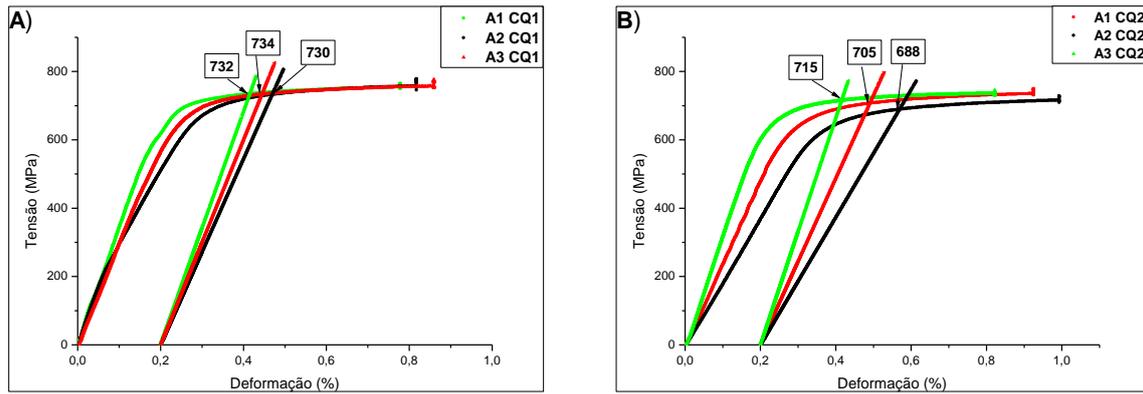


Figura 4: condição 4 (nove dias em estoque) A) composição da tabela 1 (CQ1) B) composição da tabela 2 (CQ2)

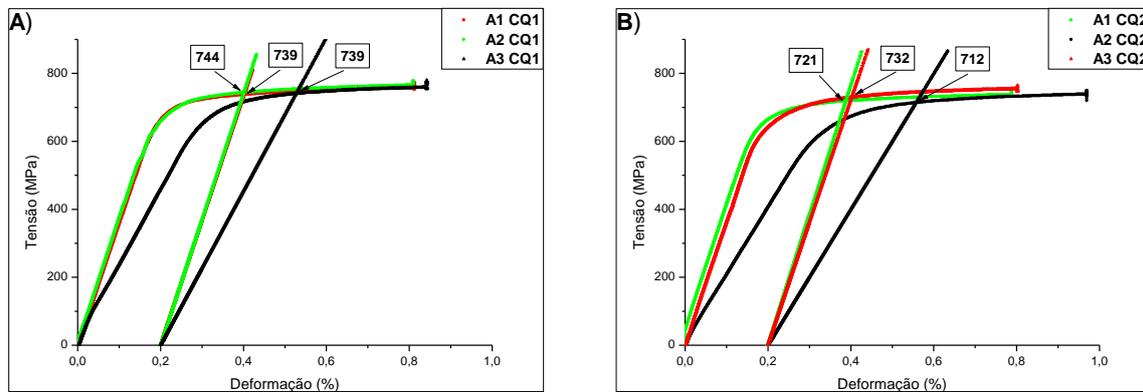


Figura 5: condição 5 (quatorze dias em estoque) A) composição da tabela 1 (CQ1) B) composição da tabela 2 (CQ2)

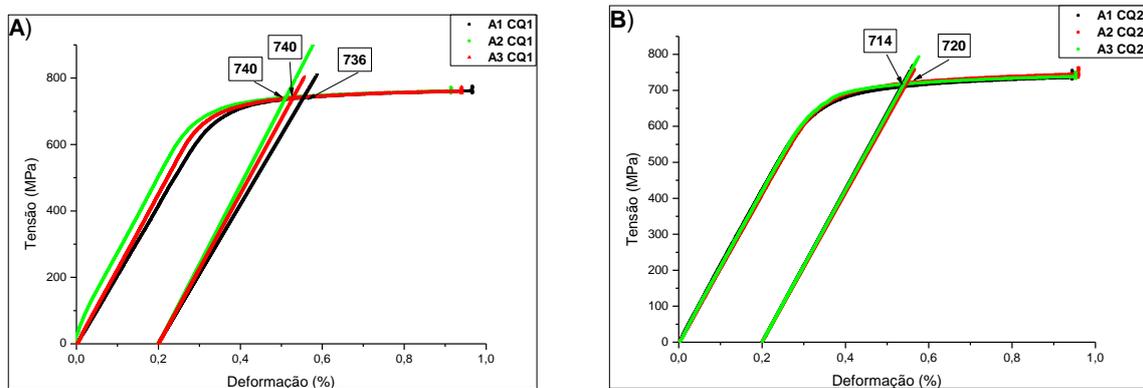


Figura 6: condição 6 (dezoito dias em estoque) A) composição da tabela 1 (CQ1) B) composição da tabela 2 (CQ2)

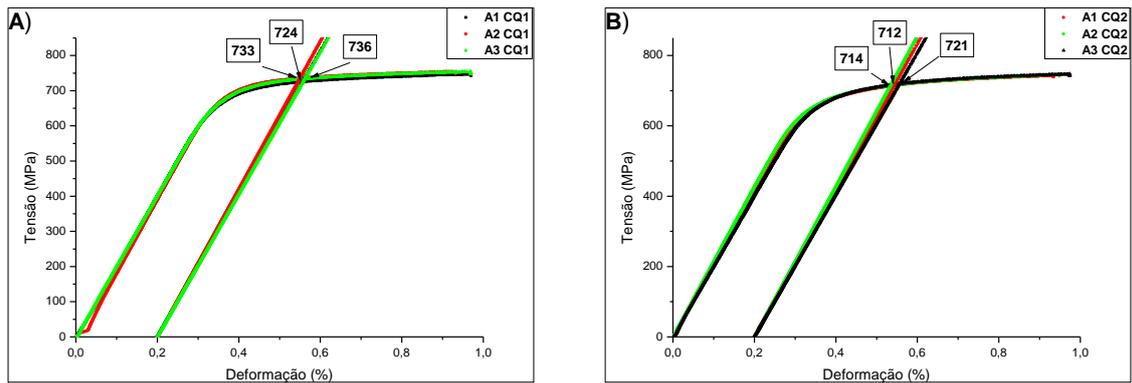


Figura 7: condição 7 (vinte e um dias em estoque) A) composição da tabela 1 (CQ1) B) composição da tabela 2 (CQ2)

Tabela 3. Resultado dos ensaios compilados (LE Médio \pm Desvio Padrão).

Condição	Tempo em Estoque (dias)	LE Médio CQ1 (MPa)	LE Médio CQ2 (MPa)
1	0	(731 \pm 14,6)	(687 \pm 0)
2	3	(732 \pm 3,3)	(706 \pm 17,4)
3	6	(739 \pm 16,3)	(723 \pm 5,1)
4	11	(732 \pm 1,6)	(703 \pm 11)
5	14	(741 \pm 2,4)	(722 \pm 8,2)
6	18	(739 \pm 1,9)	(716 \pm 2,8)
7	21	(731 \pm 5,1)	(716 \pm 3,8)

A tabela 3 apresenta os resultados dos ensaios ilustrados nas figuras 1 a 7, onde cada uma representa um tempo de estoque diferente. O LE da tabela 3 é a média do valor encontrado nas 3 curvas. As amostras na condição 1, dia da produção do material, foram ensaiadas após a equalização com a temperatura ambiente. O vergalhão com a CQ1 apresenta na média LE superior em relação ao vergalhão com a CQ2, embora o teor de carbono da primeira seja inferior. Uma possível explicação seria o maior teor de alguns elementos residuais que porventura contribuem para o endurecimento por solução sólida na CQ1. Segundo Oliveira et al. [4], o cromo ainda atua na redução da espessura da lamela perlítica, o que pode ser a causa do limite de escoamento superior para a CQ1.

A CQ1 durante os vinte e um dias de acompanhamento não apresentou aumento significativo no limite de escoamento, enquanto a CQ2 no terceiro dia em estoque indicava um aumento expressivo do limite de escoamento. Possivelmente, na CQ1 o teor de elementos intersticiais não seja suficiente para que o fenômeno de envelhecimento por deformação ocorra, ou mesmo seja perceptível através do método de análise. A CQ2, com maior teor de elementos intersticiais, mesmo nos primeiros dias de armazenamento em estoque, apresentava um aumento no limite de escoamento que sugere o efeito do envelhecimento por deformação. A causa para este comportamento pode ser o maior teor de elementos intersticiais. Na figura 7 com 21 dias em estoque, tanto a CQ1 quanto CQ2 apresentaram curvas sobrepostas.

3 CONCLUSÃO

Os resultados mostram o acompanhamento do CA-60 Reto 5 mm durante 21 dias. A CQ2 no final deste período apresentou aumento expressivo do limite de escoamento se comparada com a condição inicial. A CQ 1 não apresentou variação significativa do limite de escoamento.

Os resultados apresentados indicam que além do envelhecimento por deformação é possível que os elementos residuais contribuam de forma significativa para o aumento da resistência mecânica. Além disso, a análise sugere que o teor de elementos intersticiais influencia no envelhecimento pós-deformação, podendo não ser relevante para baixos teores desses elementos.

Agradecimentos

O autor agradece a Dinateste pelo apoio oferecido ao estudo.

4 REFERÊNCIAS

- 1 NBR, ABNT. 7480: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado– Especificação. **Rio de Janeiro**, 2007.
- 2 HÄMMERLE, J. R.; DE ALMEIDA, L. H.; MONTEIRO, S. N. Lower temperatures mechanism of strain aging in carbon steels for drawn wires. **Scripta materialia**, v. 50, n. 10, p. 1289-1292, 2004..
- 3 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 6892. Materiais metálicos-ensaio de tração à temperatura ambiente. 2002.
- 4 OLIVEIRA, Wagner Custódio de; MARCHI, Leandro Aparecido; GONZALEZ, Berenice Mendonça. Influência do cromo no envelhecimento após deformação em fios de aço perlítico trefilados. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 56, n. 4, p. 301-305, 2003