

Relatório TP5 – Estudo do fenómeno de envelhecimento por deformação nos aços

André Ferreira, João Galante.

6 de Novembro de 2012

Resumo: Foi realizado um ensaio de tracção num provete de aço C1 (designação da F.Ramada) no estado recozido, até o patamar de cedência ser ultrapassado. O mesmo provete foi de seguida submetido a um envelhecimento a temperaturas moderadas e um último ensaio de tracção até à rotura. Com base nos dados obtidos dos ensaios de tracção e análise bibliográfica compararam-se as propriedades do provete antes e depois do envelhecimento. Finalmente fez-se uma breve referência e comparação com um processo muito semelhante de aumento de resistência mecânica de aços que é o Bake Hardening.

0 – Introdução

É de grande importância, em diversas engenharias, a possibilidade do uso de materiais com as propriedades desejadas e a custo aceitável. Por esse motivo, nem sempre a escolha se prende com o tipo de material, mas com o tratamento a que um dado material é sujeito. Tal é o caso dos aços, cujos diferentes tratamentos a que podem ser submetidos, lhes permitem uma melhoria de diversas propriedades e por conseguinte um aumento do seu leque de aplicações.

Quanto a propriedade que se pretende aumentar é a resistência mecânica de um aço, por exemplo, um tratamento a efetuar é o envelhecimento por deformação. É, então, sobre esse aumento de resistência mecânica causado pelo envelhecimento por deformação, que este trabalho se visa principalmente a debruçar.

Assim, foi realizado um primeiro ensaio de tracção num provete do aço referido até à ultrapassagem completa do patamar de cedência. Para efeitos de verificação procedeu-se a um novo ensaio, ao mesmo provete, verificando-se agora a inexistência do patamar e o aumento da resistência mecânica devido ao encruamento sofrido (fig. 1). Finalmente procedeu-se a um tratamento térmico de aquecimento a 220°C com estágio de uma hora, findo o qual foi arrefecido lentamente e submetido a novo ensaio de tracção. Recolheram-se e analisaram-se os dados obtidos pré e pós envelhecimento, que de seguida se apresenta.

1 – Determinação das propriedades mecânicas no estado recozido e no estado envelhecido

As propriedades mecânicas em questão a analisar serão então o módulo de elasticidade (E), a tensão limite

de elasticidade ou tensão de cedência (σ_e) a tensão de rotura (σ_r), a extensão após rotura (ϵ_r) e o coeficiente de estrição (ϕ).

Para o estado recozido temos:

Determinação do módulo de elasticidade:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}; \sigma = \frac{F}{A}; \epsilon = \frac{l_f - l_i}{l_i}$$

$$\sigma = \frac{4 \cdot 750 \cdot 9,8}{\pi \cdot 5^2} = 374 \text{ MPa}$$

$$\epsilon = \frac{0,1}{50} = 0,002$$

$$E = \frac{374}{0,002} = 187 \text{ GPa}$$

O valor calculado difere do valor esperado que seriam aproximadamente 210 GPa. Uma das razões possíveis pode ser a imprecisão inerente ao método utilizado nestes cálculos. Para este trabalho não será importante o valor exato porque estamos mais preocupados com a variação em si da resistência mecânica com o envelhecimento após deformação do que propriamente os valores com que se trabalha. No entanto, se fosse necessário saber o valor exato do módulo de elasticidade, ter-se-ia de recorrer a outros métodos para o calcular que não o utilizado aqui.

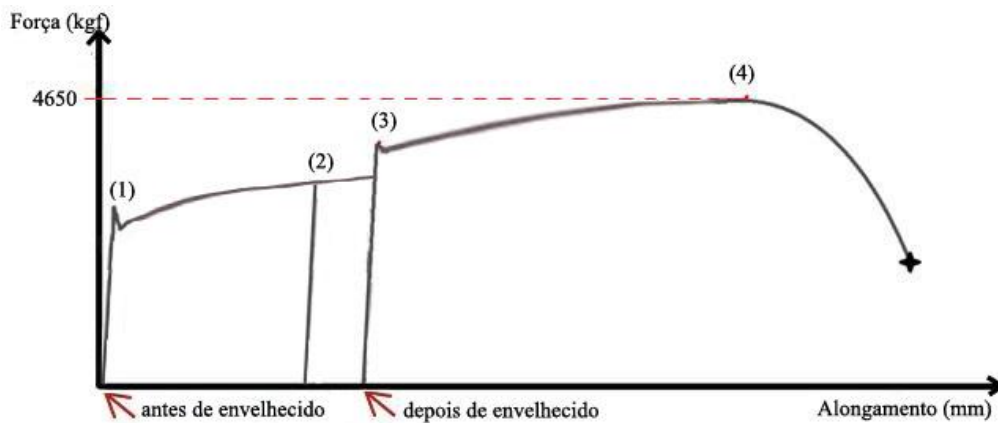


Fig. 1 – Ensaio de tração para o provete em estudo. (1) Patamar de cedência do provete antes do envelhecimento. (2) Segundo ensaio de tração comprovando a inexistência do patamar de cedência após encruamento suficiente. (3) Reaparecimento do patamar de cedência após envelhecimento. (4) Ponto onde se atinge a tensão de ruptura, aos 4650 kgf.

Determinação da tensão de cedência:

$$\sigma = \frac{5 \cdot 750 \cdot 9.8}{\pi \cdot 5^2} = 468 \text{ MPa}$$

Superior:

$$\sigma_H = \frac{4.5 \cdot 750 \cdot 9.8}{\pi \cdot 5^2} = 420 \text{ MPa}$$

Inferior:

$$\sigma_L = \frac{3.9 \cdot 750 \cdot 9.8}{\pi \cdot 5^2} = 365 \text{ MPa}$$

Valor médio: 392.5 Mpa

É de notar que o valor do patamar de cedência é muito elevado para que o aço do provete seja de facto o C1. Para estes valores de tensões, parece ser mais provável que o provete seja de um aço mais próximo ao F10 (designação da F. Ramada).

Relativamente à extensão após rotura, à tensão de rotura e ao coeficiente de estricção, os seus dados não puderam ser recolhidos porque o provete não foi levado a esse ponto antes do envelhecimento. Assim, para comparar estas três propriedades antes e depois do mesmo, poder-se-ia realizar um ensaio de tração até a rotura com um provete das mesmas dimensões e do mesmo material.

Após envelhecimento:

Determinação do módulo de elasticidade:

O módulo de elasticidade não deveria, nem variou após o tratamento, matendo-se portanto em 187 GPa.

Determinação da tensão de cedência:

No ensaio de tração após envelhecimento o patamar de cedência reaparece como seria de esperar, no entanto é muito discreto e portanto desprezável para os efeitos do que é pretendido neste trabalho. Calcula-se portanto um único valor:

Este tratamento foi responsável, assim, por um aumento de aproximadamente 11,5% da tensão de cedência em relação ao valor obtido antes do envelhecimento.

É portanto seguro dizer que o envelhecimento por deformação aumentou significativamente a resistência mecânica do provete.

No fim do ensaio de tração o provete apresentava uma redução de diâmetro de 2.4 mm (24%), uma extensão após rotura de 14mm (7%) e uma tensão de rotura de 580MPa. Estes dados, como já foi referido, seriam úteis para comparar com um outro ensaio de tração do provete antes do envelhecimento, que não foi realizado. Ficam, contudo, registados, caso tal se venha a suceder.

2 – Diagrama esquemático da curva de tração

O diagrama (fig. 1) mostra as três curvas de tração a que foi submetido o provete, e o aumento visível da tensão de cedência, que no gráfico pode ser observado pelo aumento da carga necessária para provocar deformação plástica, ou seja, se ultrapassar a tensão de cedência.

A título optativo, caso se quisesse eliminar o patamar de cedência seria uma hipótese a adição de elementos carborígenos como Cr, Mo, V, W ou novo encruamento do provete.

3 – Analogia com os aços Bake Hardening (BK)

Muito semelhante a esta técnica de aumento da resistência mecânica dos aços, existe outra que se dá pelo nome de Bake Hardening.

Com efeito, o BK trata-se de uma técnica de processar aços de baixo teor em carbono geralmente a baixas temperaturas, tal como no envelhecimento por deformação, e com o mesmo objetivo de elevar a sua resistência mecânica. No caso dos aços BK são muitas vezes com vista a serem aplicados na indústria automóvel.^{2,5}

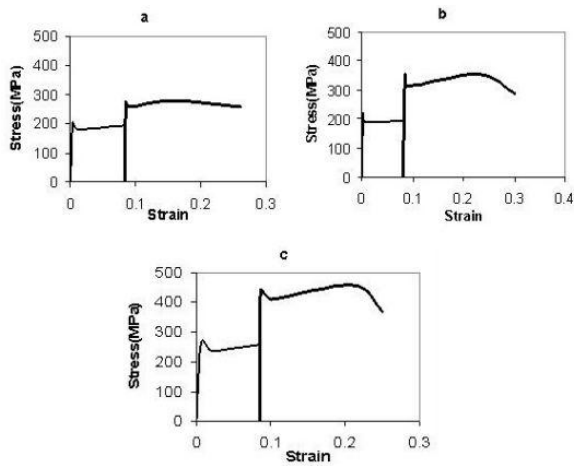


Fig. 2 – Ensaio de tração para três provetes de um aço arrefecidos a) lentamente no forno; b) moderadamente a ar; c) rapidamente em água.²

Através do controlo da temperatura, do tempo no forno, da velocidade de arrefecimento e da quantidade de

carbono inicial no aço é possível atingir aumentos na resistência mecânica na ordem dos 40MPa¹. A título exemplificativo apresentam-se (fig. 2) gráficos de ensaios de tração para três provetes arrefecidos em diferentes meios. Note-se a semelhança dos ensaios de tração com o obtido por envelhecimento por deformação: a existência de patamar de cedência pré e pós BK, e o aumento considerável da resistência mecânica.

Por norma, quanto maior for a temperatura no forno maior será a eficácia do tratamento. No entanto ao aumentar a temperatura corre-se o risco de alterar negativamente as propriedades do aço, entrando-se, por exemplo, muito facilmente na zona de temperaturas dos revenidos, que podem causar, entre outros, reduções indesejáveis de durezas e resistências mecânicas⁴. Daí a importância em otimizar o tempo e a velocidade de arrefecimento em função do aço e do seu objectivo, bem como o estudo prévio dos diagramas de equilíbrio do mesmo. Tais optimizações e estudos, devem também ser feitos com o envelhecimento após deformação, visto que padece das mesmas limitações.

Bibliografia:

- 1 Diógenes, A.N., Hoff, E. A., Fernandes, C.P., et al. “Caracterização de aços BH através de análise de imagens: classificação de inclusões de acordo com seu tamanho e forma”. Disponível online em : <http://www.lmpt.ufsc.br/publicacao/118.pdf>
- 2 Momeni, A., Dehghani, K., Abbasi, S., et al. “Bake hardening of a low carbon steel for automotive applications”. KNT university of technology, Tehran, Iran. Disponível online em: <http://www.metalurgija.org.rs/mjom/vol13/No%202/4Momeni.pdf>
- 3 Silva, L.F.M. da., Duarte, T.M. P., Antunes, V. T. (2008) “Problemas e trabalhos práticos de metalurgia”. Porto:FEUP Edições. 1ª ed.
- 4 Silva, L.F.M.da. (2012) Disciplina de Materiais de Construção Mecânica 1 [Apresentações Powerpoint]. Aula 4, p. 21;
- 5 ThyssenKrupp Steel Europe. “Bake Hardening steels BHZ”. Catálogo de produto.