

INFLUÊNCIA DA PRÉ-DEFORMAÇÃO PLÁSTICA NO ENVELHECIMENTO DO AÇO 180 BH

K. E. R. de Souza¹; A. A. Couto^{1,2}; J. Vatavuk¹; B. O. S. R. de Oliveira¹; A. A. Aguiar²
Av. Prof. Lineu Prestes, 2.242, CEP: 05508-000, São Paulo, SP, acouto@ipen.br
(1) Mackenzie; (2) IPEN

RESUMO

O aço 180 BH apresenta características de envelhecimento em estufa e classifica-se conforme o limite de escoamento mínimo de 180 MPa. A avaliação do efeito de endurecimento por envelhecimento (Bake Hardening) é afetada pela intensidade da pré-deformação plástica em tração. Neste trabalho foi analisada a influência da pré-deformação plástica em tração no fenômeno de envelhecimento em estufa do aço 180 BH. O ganho de resistência mecânica pelo efeito Bake Hardening (BH) foi determinado após uma pré-deformação inicial de 0, 1, 2, 4, 6, 9, 15 e 20% nos corpos-de-prova do aço 180 BH envelhecidos em estufa a 170°C por 20 min. O ganho de resistência mecânica total foi dividido pelos efeitos Bake Hardening (BH) e Work Hardening (WH). O pico no ganho de resistência pelo efeito Bake Hardening ocorreu nos corpos-de-prova pré-deformados 1 % antes do envelhecimento. Deformações acima de 2 % acarretam aumento adicional de resistência mecânica basicamente pelo efeito Work Hardening.

Palavras-chave: aço carbono, bake hardening, envelhecimento, deformação.

INTRODUÇÃO

Atualmente, a indústria automobilística está cada vez mais pressionada a cumprir regulamentações no que diz respeito à relação resistência/peso para a fabricação de peças estampadas para painéis externos e reforços que compõem a estrutura de um veículo. Devido às condições de serviço, a peça acabada deve apresentar peso relativamente baixo e alta resistência por estar sujeita a esforços severos e choques repentinos, além de resistência a corrosão adequada^(1,2).

Com isso, o peso do veículo sempre foi encarado como um fator importante, pois as novas exigências e metas de redução de consumo e de emissões de gases

umentam a pressão por veículos mais leves. Uma diminuição de 10% no peso gera uma redução entre 5% e 8% no consumo do veículo. Uma diminuição de 100 kg no automóvel pode resultar em até 12,5 g/km a menos de CO₂, tornando-se um auxílio valioso para garantir o cumprimento das novas legislações internacionais de emissões ⁽³⁾.

O aço 180 BH apresenta características de envelhecimento em estufa e é caracterizado com limite de escoamento mínimo igual a 180 MPa, segundo a norma DIN EN 10268. É um aço que combina resistência mecânica e conformabilidade, apresentando baixo limite de escoamento antes da estampagem e aumenta desta tensão após a estampagem e pintura. Isto ocorre devido ao processo de envelhecimento nas temperaturas de pintura ^(4,5).

Estes aços tem ajudado as montadoras a reduzirem o peso da carroceria de seus automóveis. Contudo, nem sempre é aconselhável a utilização desses aços em todas as partes externas do veículo. Estudos recentes sugerem que o efeito de endurecimento pelo envelhecimento diminui à medida que a deformação aumenta. A utilização deste aço com graus de deformação maiores pode tornar-se inapropriada devido ao pouco ganho no envelhecimento e aumento do custo de fabricação do veículo ^(6,7).

Em função disto, existe o interesse em estudar os aços envelhecíveis nas temperaturas de operação das estufas de pintura e entender melhor a sua aplicabilidade no uso em partes da carroceria. Isto possibilitaria a redução de peso dos veículos, implicando num aumento da eficiência dos motores de combustão interna, gerando economia de combustível e atendendo a necessidade de aumentar a segurança dos veículos ⁽⁸⁾. Diante disto, este trabalho visa estudar a influência da pré-deformação plástica no fenômeno de envelhecimento no aço 180 BH em estufa de pintura, ou seja, como a variação do encruamento afeta o efeito Bake Hardening.

MATERIAIS E MÉTODOS

O aço utilizado neste trabalho foi o 180 BH, cuja composição é apresentada na tab 1. Os corpos-de-prova para pré-deformação e subsequente ensaio de tração foram confeccionados segundo a norma ABNT NBR 6673 ⁽⁹⁾. Para a aplicação das pré-deformações foram utilizados 27 corpos-de-prova do aço 180 BH, divididos em 8 lotes com 3 corpos-de-prova cada e identificados com as letras A, B e C. Cada um dos 8 lotes foi submetido a uma porcentagem de pré-deformação (0, 1, 2, 4, 6, 9, 15

e 20%). Os 3 corpos-de-prova restantes foram identificados apenas com as letras A, B e C e usados para ensaio de tração convencional para referência.

Depois da pré-deformação, os corpos-de-prova foram envelhecidos numa estufa a 170°C por 20 minutos a fim de simular a pintura. Depois de concluído o envelhecimento, os corpos-de-prova foram retirados da estufa e espalhados ao ar para resfriamento natural. Após completamente frios, os corpos-de-prova foram ensaiados em tração e foi então obtido o limite de escoamento após o envelhecimento.

Tabela 1: Composição química do aço 180 BH.

Elementos	C	Mn	P	S	Al	Ti	Fe
Porcentagem	0,007	0,227	0,032	0,013	0,066	0,001	Balanço

O método de medida do aumento de resistência mecânica do aço devido aos efeitos Bake Hardening (BH) e Work Hardening (WH) consiste em subtrair o limite de escoamento obtido para o aço após o tratamento em estufa a 170°C por 20 minutos do menor patamar do escoamento do material com uma determinada pré-deformação. A fig. 1 mostra esquematicamente o método de obtenção dos efeitos BH e WH para um aço pré-deformado 2%.

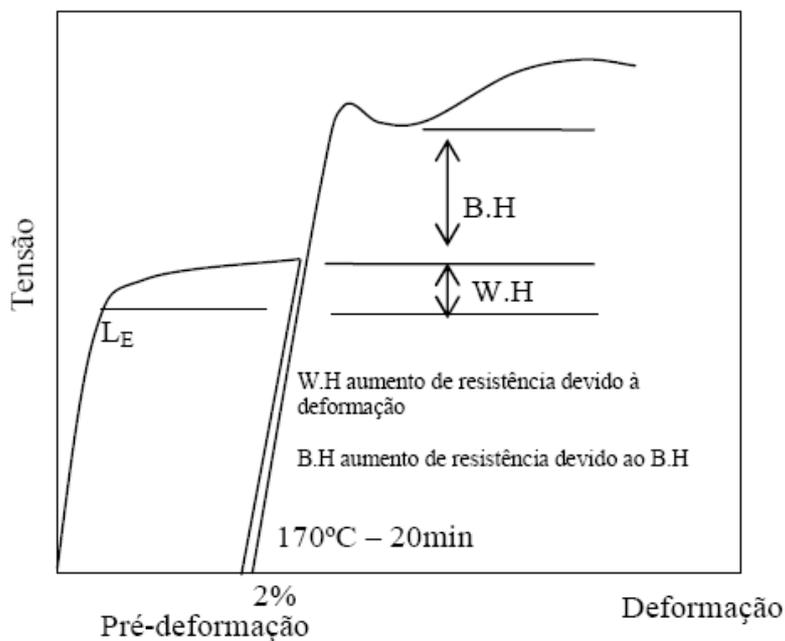


Figura 1: Método de obtenção dos efeitos Bake Hardening (BH) e Work Hardening (WH) para um aço pré-deformado 2%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos ensaios de tração de corpos-de-prova do aço sem pré-deformação e sem tratamento em estufa são apresentados na tab 2. Para os cálculos de ganho de resistência em tensão e em porcentagem decorrentes dos efeitos de BH (Bake Hardening) e de WH (Work Hardening) foram utilizados os valores de tensão para uma determinada porcentagem de pré-deformação antes do envelhecimento (T_1), o limite de escoamento na porcentagem de pré-deformação antes do envelhecimento (LE_1) e o limite de escoamento após o envelhecimento (170°C/ 20 min) para a mesma porcentagem de pré-deformação ($L.E_2$).

Tabela 2: Propriedades mecânicas obtidas nos ensaios de tração do aço 180BH sem pré-deformação e sem tratamento em estufa.

Identificação do Corpo-de-Prova	Limite de Resistência [MPa]	Limite de Escoamento [MPa]	Alongamento [%]
A	343	213	41,5
B	336	207	38,9
C	336	210	41,5
Média	338,3	210	40,6

O ganho de resistência mecânica referente a 0% de pré-deformação (BH_0) foi calculado pela diferença entre os valores de limite de escoamento antes e após o tratamento em estufa. Este ganho de resistência mecânica pelo envelhecimento em estufa é relativo somente ao efeito (Bake Hardening – BH), pois o aço não foi submetido à pré-deformação.

Para as demais porcentagens de pré-deformação ($n = 1, 2, 4, 6, 9, 15$ e 20%) foi calculado o BH_n em que o corpo-de-prova é colocado na máquina de tração e tracionado até atingir cada uma das porcentagens de deformação estipulada, sendo então retirado da máquina, colocado em estufa para o envelhecimento (170°C/ 20 min) e depois de frio, novamente submetido à tração para continuidade do ensaio. A diferença entre o limite de escoamento após o envelhecimento e a tensão na porcentagem de deformação antes do envelhecimento é o ganho de resistência mecânica devido ao efeito Bake Hardening (BH). A diferença entre o limite de escoamento e a tensão na porcentagem de deformação antes do envelhecimento é o ganho de resistência mecânica pelo encruamento ou efeito de Work Hardening (WH).

A seguir são apresentadas as eqs (A), (B) e (C) utilizadas para o cálculo dos efeitos BH_0 , BH_n e WH_n .

$$BH_0 = L.E_2 \text{ (após envelhecimento)} - L.E_1 \text{ (antes envelhecimento)} \quad (1)$$

$$BH_n = L.E_2 \text{ (após envelhecimento)} - T_1 \text{ (antes envelhecimento)} \quad (2)$$

$$WH_n = T_1 \text{ (antes envelhecimento)} - L.E_1 \text{ (antes envelhecimento)} \quad (3)$$

Após a realização dos ensaios, os valores do ganho de resistência mecânica pelos efeitos BH e WH (Bake Hardening e Work Hardening) foram determinados e as respectivas porcentagens para os dois efeitos calculados. Na figs 2 e 3 são apresentados os gráficos de ganho de resistência mecânica em tensão e em porcentagem relativa para cada efeito (BH e WH). Este fenômeno de aumento de resistência por solução sólida ocorre devido à formação da Atmosfera Cottrell.

A partir do gráfico de porcentagem de ganho de resistência mecânica pelos efeitos BH e WH, nota-se que para os valores de pré-deformação de até 2% ocorre os maiores valores relativos pelo efeito BH. Para porcentagens de pré-deformação acima de 4% o ganho de resistência mecânica pelo efeito BH estabiliza-se em valores ao redor de 40% do ganho total. Estes resultados concordam com trabalhos anteriores ^(6,7), que observaram que o ganho relativo pelo efeito BH diminui à medida que a deformação plástica aumenta.

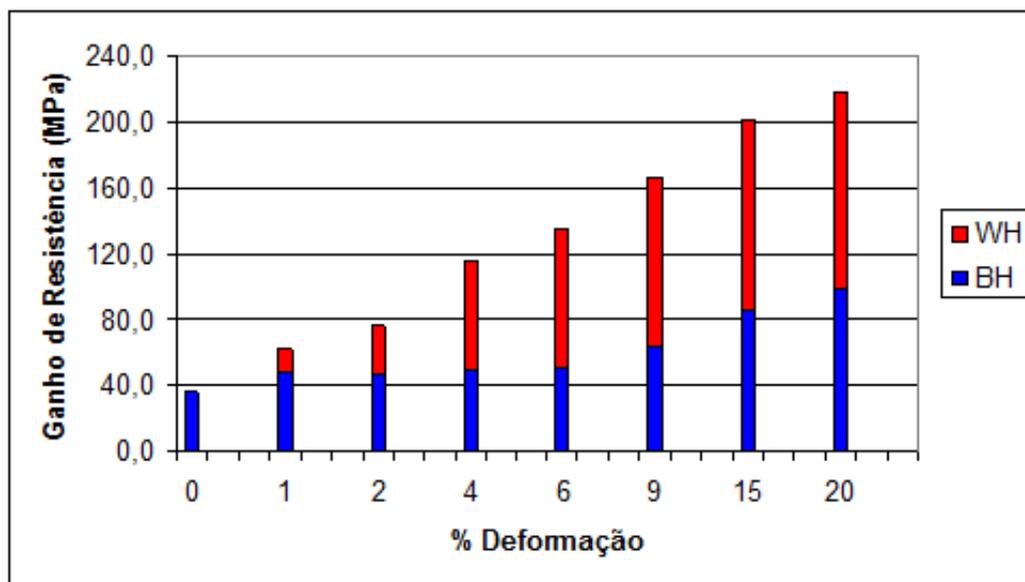


Figura 2: Ganhos de resistência mecânica [MPa] pelos efeitos Bake Hardening (BH) e Work Hardening (WH).

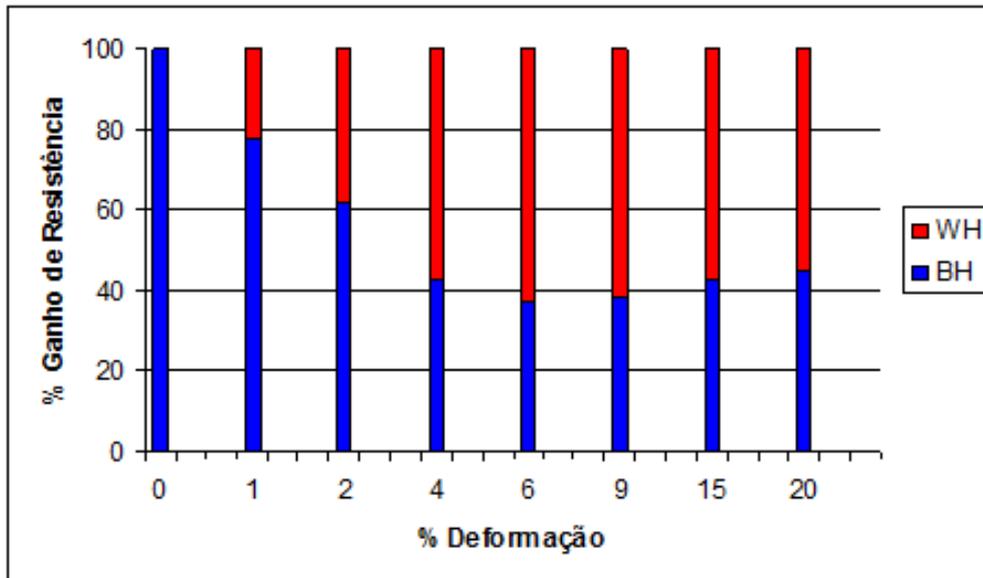


Figura 3: Porcentagens dos ganhos de resistência mecânica pelos efeitos Bake Hardening (BH) e Work Hardening (WH).

O ganho de resistência mecânica pelo efeito BH para porcentagens de pré-deformação entre 2 a 6% estabilizou em torno de 40 MPa, um pouco acima do mínimo estabelecido pela norma DIN EN 10268 (35 MPa). Nas porcentagens de 9, 15 e 20%, teve um ganho de resistência mecânica pelo efeito BH de aproximadamente 80 MPa, que somado ao ganho pelo efeito WH, faz com que este aço de boa conformabilidade obtenha resistência mecânica em torno de 400 MPa após o envelhecimento. Além disso, nestas porcentagens, os aços BH podem substituir os aços de baixa liga e alta resistência como HC260LA e HC300LA, segundo norma DIN EN 10268, reduzindo os custos de fabricação, pois estes aços tem preços mais elevados.

CONCLUSÕES

O estudo da pré-deformação do aço 180 BH envelhecido em estufa permitiu concluir que a melhor condição relativa ao ganho de resistência pelo efeito Bake Hardening (BH) ocorreu nos corpos-de-prova pré-deformados 1 % antes do envelhecimento. Pré-deformações acima de 2 % acarretam aumento adicional de resistência mecânica principalmente pelo efeito Work Hardening (WH). Os resultados indicam que o aço 180 BH é candidato a substituir aços de alta resistência e baixa liga, com uma redução de custo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Mercedes-Benz do Brasil pelo material de pesquisa e pelo apoio dos seus laboratórios.

REFERÊNCIAS

1. CHIAVERINI, V. **Aços e ferros fundidos**. 6. Ed. ampl. e rev. São Paulo: Associação Brasileira de Metais, 1990. 518 p.
2. LAGNEBORG, R. New Steels and Steel Applications for Vehicles - **Materials & Design**. v. 12, n. 1, 1992.
3. MIRISOLA, M. As vantagens da redução de peso nos veículos. **Engenharia Automotiva e Aeroespacial - SAE Brasil**. São Paulo, n. 40, p. 74, 2009.
4. WÜEBBELS, T. et al. The effects of room temperature aging on subsequent bake-hardening of automotive sheet steels. **SAE Technical Paper** 2002-01-0041, 2002.
5. DIN EN 10268:2006-02 – Cold rolled steel flat products with high yield strength for cold forming – Technical delivery conditions, 2006.
6. SILVA, A.T. Investigação sobre as vantagens de usar aços envelhecíveis em estufa (com efeito BH) em peças estruturais da carroceria do veículo. **SAE Technical Paper**, N. 2005-01-4025, 2005.
7. OLIVEIRA, A. C. L. et al. Otimização das condições de processo e da composição química do material 180BH por meio de modelamento termodinâmico. Porto de Galinhas, 2008. In: SEMINÁRIO DE LAMINAÇÃO, PROCESSOS E PRODUTOS LAMINADOS E REVESTIDOS. **Anais**São Paulo: ABM, 2008, p.45-50.
8. MAGNABOSCO, R. Aço ARBL para fabricação de rodas automotivas – microestruturas, comportamento mecânico e vida em fadiga. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA MECÂNICA. **Anais** COBEM, 2001, 34-40.

INFLUENCE OF PRE-STRAIN ON AGING OF THE 180 BH STEEL

ABSTRACT

180 BH steel had been submitted to aging in a drying oven and presents minimum yield strength of 180 MPa. The evaluation of the effect of age-hardening (Bake Hardening) is affected by the intensity of pre-strain. In this study it was analyzed the influence of pre-strain in the phenomenon of aging in drying oven of the 180 BH steel. The increase in strength by the Bake Hardening (BH) effect was determined after an initial pre-strain of 0, 1, 2, 4, 6, 9, 15 and 20% in the 180 BH steel specimens aged in drying oven at 170 ° C for 20 min. The increase in strength was divided by effects Bake Hardening (BH) and Work Hardening (WH). The peak of strength gain by the Bake Hardening effect occurred in specimen pre-strained 1% before aging. Strains above 2% cause further increase of strength mainly by the Work Hardening effect.

Key-words: carbon steel, bake hardening, work hardening, aging