



PROCESSAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE AÇO AO BORO (HOT STAMPING)

Julio Henrique Medrano^{1*}, Fernanda O. Tavares² e Tatiane C. Ferrari³

1 - Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo (USP), Estrada Municipal do Campinho, s/n - Pte. Nova, Lorena, 12602-810, SP, julio.medrano@usp.br

2 - Departamento de Engenharia Civil (DEC), Universidade Estadual Maringá (UEM).

3 – Departamento de Engenharia Química (DEQ), Universidade Federal do Paraná (UFPR).

RESUMO

Com o aumento da demanda e desenvolvimento do setor automobilístico, onde se torna importante melhorar a eficiência do consumo de energia dos veículos, pode-se observar a necessidade de materiais que sejam ao mesmo tempo leves e possuam altas resistências mecânicas. O processo de estampagem à quente (hot stamping) é uma das alternativas para a conformação de aços de alta resistência. Esses aços são caracterizados por microestruturas únicas e propriedades metalúrgicas que permitem que os fabricantes de automóveis atendam aos diversos requisitos funcionais dos veículos. Aço ao boro é adequado para conformação mecânica a quente. Entretanto, atualmente, existe uma patente que gera uma restrição tecnológica para o processamento do estampado a quente. O objetivo deste trabalho é avaliar as características de um aço para que possa ser proposta uma nova alternativa de processamento.

Palavras-chave: *aço ao boro, estampagem a quente, dilatometria.*

INTRODUÇÃO

Atualmente, com a crescente demanda e desenvolvimento do setor automobilístico, onde se torna importante melhorar a eficiência do consumo de energia dos veículos, mantendo os custos de fabricação, pode-se observar que a busca por materiais que sejam ao mesmo tempo leves e possuam altas resistências mecânicas aumenta a cada dia. Também, com as crescentes preocupações sobre os gases de efeito estufa induzidos pelos humanos, os legisladores globais aprovaram regulamentos de emissões por veículos mais rigorosos, ao mesmo tempo em que consideram metas mais agressivas para os próximos dez anos. Os aços avançados de alta resistência (“AHSS - Advanced High Strength Steel”) são caracterizados por microestruturas únicas e propriedades metalúrgicas que permitem que os fabricantes de automóveis atendam aos diversos requisitos funcionais dos veículos. Segundo BATALHA, M. (2015), os aços avançados de alta resistência são materiais complexos e sofisticados, com composições químicas cuidadosamente selecionadas e microestruturas multifásicas resultantes de processos de aquecimento e resfriamento precisamente controlados. Vários mecanismos são empregados para obter uma gama de propriedades de resistência, ductilidade, tenacidade e fadiga. A família dos aços avançados de alta resistência inclui fase dupla (DP), fase complexa (CP), ferrítica-bainítica (FB), martensítica (MS ou MART), plasticidade induzida por transformação (TRIP), conformado a quente (HF ou HS) e plasticidade induzida por geminação (TWIP). O uso de aços

HF ou HS para estampagem a quente (“hot stamping”) tem aumentado significativamente, principalmente neste setor, pois estes aços aliam uma grande resistência mecânica com uma baixa espessura de suas chapas e resultam em melhor desempenho de segurança (WORLD AUTO STEEL, 2018). Durante a estampagem a quente, o material, além de ser conformado para a forma final da peça, também é tratado termicamente dentro da matriz. Esse tratamento térmico consiste na têmpera da chapa, obtendo-se uma peça final com microestrutura predominantemente martensítica. Essa microestrutura martensítica confere à peça elevados valores de limite de resistência. (ECHEVERRI, E., et al., 2015).

Embora o processo de estampagem a quente em alguns países esteja sendo empregado em escala industrial, o domínio desta tecnologia ainda é peculiar para algumas poucas empresas ou instituições de pesquisa. No Brasil, o que se verifica é que atualmente existem poucas empresas utilizando este processo para a produção de componentes automotivos. Sob o ponto de vista estratégico esta situação é preocupante, principalmente se for comparada ao processo de estampagem a frio, cuja tecnologia é totalmente dominada e difundida, sendo utilizada por inúmeras empresas do segmento metalmeccânico. Baseado neste fato se faz necessário que a tecnologia deste processo seja mais conhecida, dominada e disponibilizada. Conhecer as variáveis de processo, como as características do aço, se torna, dessa forma, fundamental.

MATERIAIS E MÉTODOS

Ensaio experimentais foram realizados para determinação da relação da temperatura de Ac1 e principalmente Ac3 com a taxa de aquecimento, a fim de garantir que o material em estudo esteja 100% austenítico antes da estampagem a quente. A partir de amostras coletadas do aço ao boro recozido e com revestimento de zinco sem tratamento térmico de difusão Fe-Zn, foram confeccionados corpos de prova (dimensão 2mm x 8mm) para determinação das temperaturas Ac1 e Ac3. Foi utilizado o equipamento dilatômetro por têmpera, modelo DT1000 do fabricante Adamel-Lhomargy.

Após a determinação da temperatura de austenitização, um mapa contendo curvas de transformação sob resfriamento contínuo (TRC) foi realizado para determinar a taxa crítica do aço ao boro. Esta taxa de resfriamento mínima garantirá que o material seja totalmente transformado em martensita, na etapa de resfriamento realizada após a estampagem a quente. Foi utilizado o equipamento mesmo dilatômetro anterior, com corpos de prova (dimensão 2mm x 8 mm) do aço ao boro recozido e com revestimento de zinco sem tratamento térmico de difusão Fe-Zn,

Após experimentarem tais taxas de resfriamento, as amostras foram então encaminhadas para análise metalográfica. Foram realizadas caracterizações microestruturais por meio das técnicas de microscopia óptica e eletrônica de varredura (M.E.V.), com o objetivo de verificar as microestruturas presentes para cada taxa de resfriamento indicadas nas curvas de dilatométrica. O M.E.V. utilizado neste trabalho foi fabricado pela Fei Company Quanta 3D FEG e as amostras foram lixadas até 1200 mesh, polidas com pasta de diamante até 1µm e atacadas com Nital 2%. Aliado a microestrutura, foram realizadas medidas de microdureza vickers (HV) a fim de confirmar as microestruturas formadas, devido aos valores típicos que a mesmas possuem. Estas medidas foram realizadas no equipamento Micromet 3 fabricado pela Buehler com pré-carga de 50 gramas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A dilatométrica forneceu os resultados apresentados na Figura 1, onde pode ser observado que aço ao boro deste estudo apresenta temperaturas de aproximadamente 732 e 822 °C para Ac1 e Ac3, respectivamente, quando aquecido a uma taxa de 20 °C/s, valor adotado em fornos industriais para processos de estampagem a quente. Estes valores estão bem próximos aos

obtidos por MAKI et al, 2015., no qual os valores encontrados foram de 728 e 823 °C para Ac1 e Ac3, respectivamente. Ou seja, a diferença de temperaturas entre os valores encontrados para o aço ao boro deste estudo e o da literatura foram no máximo 5 °C.

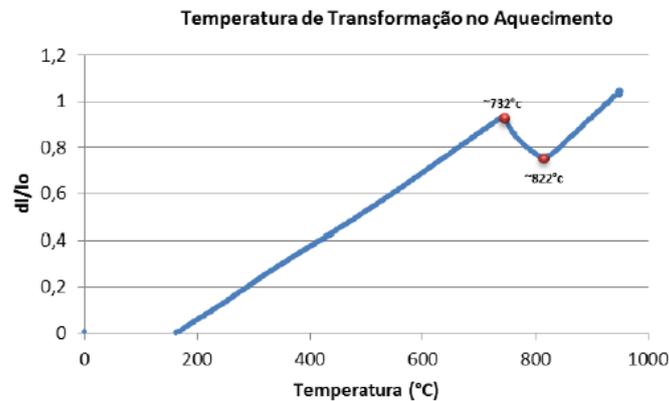


Figura 1 - Curva de dilatação do aço ao boro em estudo: temperaturas de Ac1 e Ac3.

As amostras de aço ao boro recozido e com revestimento de zinco sem tratamento térmico de difusão Fe-Zn foram submetidas a diferentes taxas de aquecimento e as temperaturas de transformação são mostradas na Figura 2. Tem-se o objetivo de identificar com maior precisão as temperaturas de transformação de fases e para isto foi aplicado cálculo da primeira derivada da dilatação em relação a temperatura. Com isso, foi possível identificar variações mais sutis de dilatação, que normalmente ocorrem quando a fração de alguma fase transformada é muito pequena na microestrutura

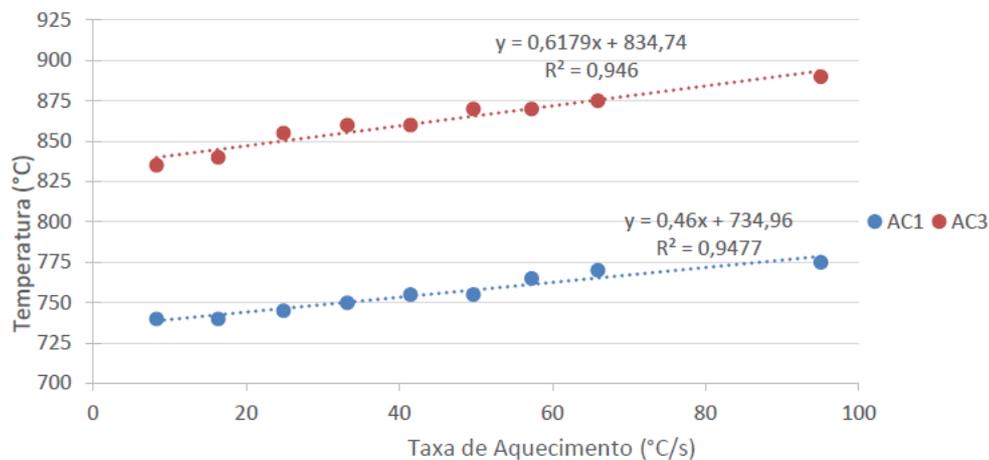


Figura 2 - Relação entre as temperaturas de transformação Ac1 e Ac3 com a taxa de aquecimento.

Após a realização do tratamento da derivada para todas as curvas e obtenção das temperaturas de transformação, foi possível estabelecer a relação das temperaturas Ac1 e Ac3 com a taxa de aquecimento. Conforme mostra a Figura 2, pode-se observar que existe uma variação considerável entre a taxa de aquecimento e as temperaturas de transformação, variando-se de 740 °C até 775 °C para a Ac1, e de 835 °C até 890 °C para a Ac3, ou seja, 55 °C. A identificação desta variação é muito importante, sobretudo, para os processos que utilizam taxas de aquecimento altas, pois tais processos precisam garantir que o material esteja 100% austenítico antes do encharque e conformação a quente. Outro fato que pode ser observado é que mesmo

apresentando intervalo de cerca de 100 °C, o intervalo do campo intercrítico variou muito pouco, apresentando valor mínimo de 95 °C para a taxa de 5 °C/s e máximo de 105 °C para taxa de 95 °C/s.

Após a determinação das temperaturas de transformação no aquecimento para cada taxa, novas amostras foram submetidas a um ciclo térmico visando simular o aquecimento e encharque que precedem a estampagem a quente. A temperatura foi superior a Ac3 e o tempo deve ser o mínimo para realizar a completa transformação do revestimento. Após o aquecimento e encharque o material foi submetido a diferentes taxas de resfriamento. As taxas utilizadas foram 0,41; 0,5; 1; 2; 3; 6; 10; 17; 3; 50; 130 °C/s, cujos ciclos térmicos estão representados na Figura 4.

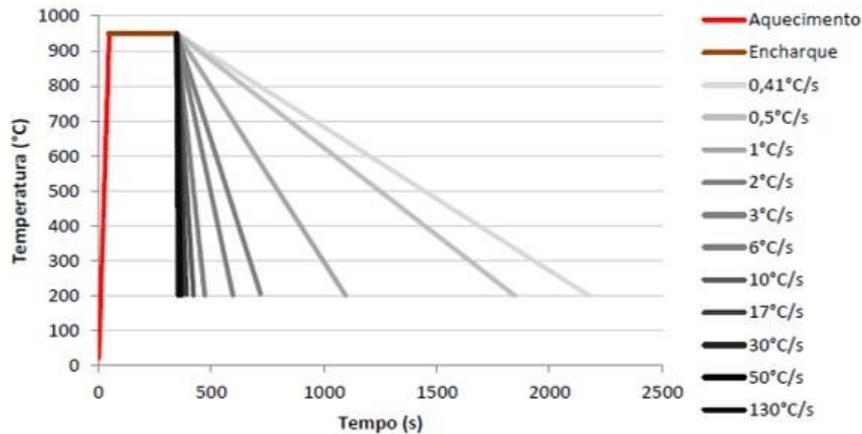
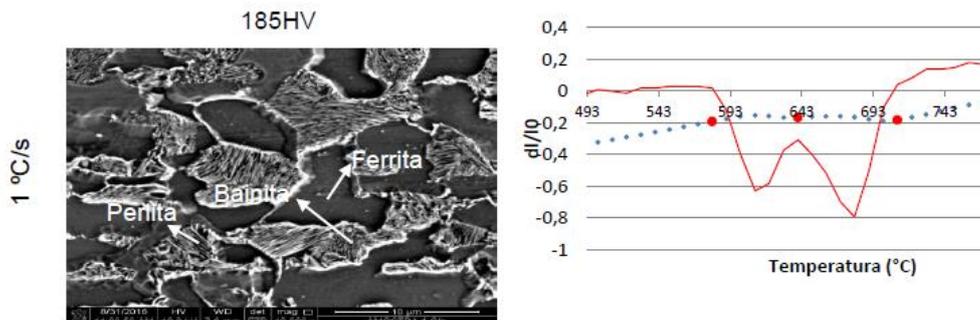


Figura 4 – Esquema dos ciclos térmicos realizados para determinação da TRC do aço ao boro.

O diagrama TRC da Figura 4 representa o mapa de transformação de fases para diferentes taxas de resfriamento contínuo. Após a determinação da temperatura mínima para garantia da existência de uma microestrutura 100% austenítica, que foi de 900 °C, as amostras foram aquecidas a uma taxa de 20 °C/s e mantidas à 950 °C por 5 minutos visando a total transformação e estabilização da fase austenita. Tomando como referência a taxa de resfriamento de 0,41 °C/s, foi possível constatar que duas transformações difusionais ocorreram durante o resfriamento mais lento, baseado na observação de duas inclinações. Com a aplicação da derivada foi possível definir as temperaturas em que estas transformações de fases ocorreram. As microestruturas formadas e valores de microdurezas vickers (HV) assim como as curvas de dilatação e derivadas determinadas para três resfriamentos, são apresentadas na Figura 5.



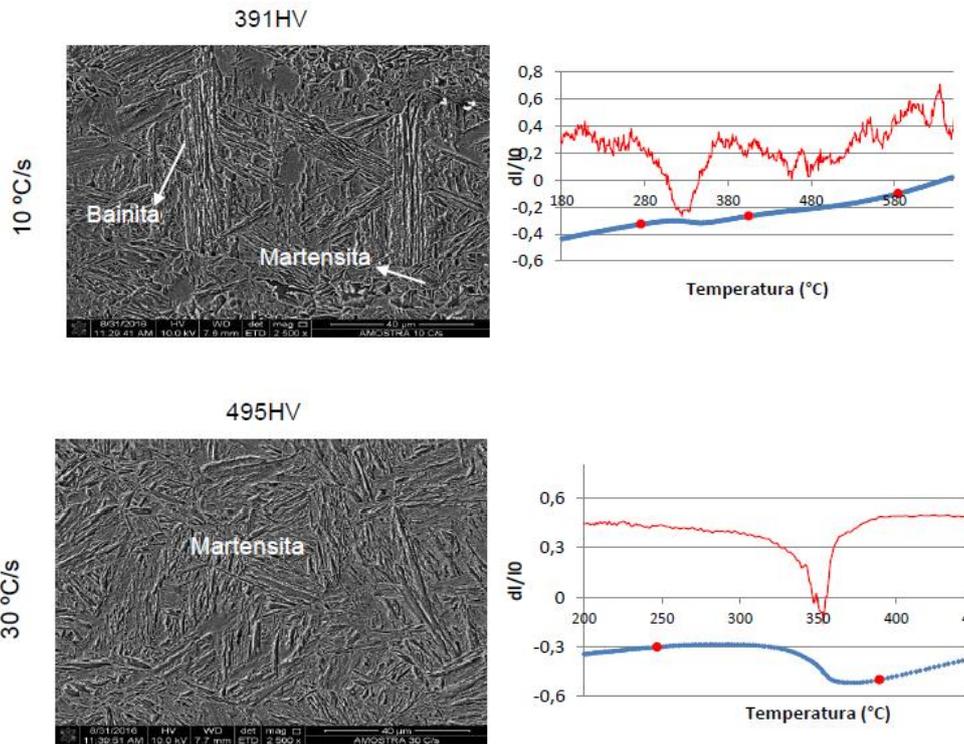


Figura 5 - Microestruturas, durezas e curvas de transformação de fase para as taxas de 1 °C/s, 10 °C/s e 30 °C/s.

Para a taxa de resfriamento de 1 °C/s, a microestrutura formada é composta por ferrita/perlita e bainita. Nesta taxa, o início de transformação de fase ferrítica ocorreu em cerca 710 °C e fim em 645 °C. Ainda, outra fase foi igualmente formada, a saber, a bainita com início e fim de transformação em 645 e 580 °C respectivamente. A dureza da microestrutura formada com a taxa de resfriamento de 1 °C/s foi 185HV. Por outro lado, quando a taxa de resfriamento foi de 10 °C/s outras duas fases foram formadas, a bainita e martensita, com temperaturas de início e fim de transformações de 585 e 405 °C, respectivamente, resultando em um aumento no valor da dureza para cerca de 391HV. Com a aplicação da taxa de resfriamento de 30 °C/s o material apresentou somente uma única transformação de fases com temperaturas de início e fim iguais a 380 e 250 °C, respectivamente. Após a análise microestrutural e de dureza, constatou-se que a fase formada com a taxa de resfriamento de 30 °C/s é martensita, evidenciando assim que esta é a taxa crítica a partir da qual o material apresentará uma microestrutura temperada, isto é, martensítica; resultando em uma dureza na ordem de 495HV.

Em relação a taxa crítica de resfriamento, segundo a TRC, foi encontrado o valor de 30 °C/s, resultado semelhante ao obtido por MAKI et. al. (2015). Porém, os valores de microdureza vickers (HV) encontrados no aço estudado neste trabalho foram mais altos para microestrutura 100% martensítica, o que pode estar relacionado a pequenas variações de composição química em comparação ao aço estudado por MAKI et. al. (2015), principalmente em relação aos elementos carbono e boro.

CONCLUSÕES

As relações encontradas entre as temperaturas de transformação Ac1 e Ac3 e as taxas de aquecimento possibilitaram a correta escolha da temperatura mínima para austenitização, garantindo o enriquecimento de Fe nas camadas de ambos revestimentos avaliados, pois

observou-se que ambas temperaturas subiram cerca de 55 °C. Além disso, o mapeamento das transformações de fases do aço ao boro estudado, obtido sob condições de resfriamento contínuo, possibilitou a identificação da taxa crítica de 30 °C/s, segundo a qual é garantida total transformação do aço em martensita, no qual permitiu a otimização do sistema de resfriamento do ferramental de estampagem a quente.

REFERÊNCIAS

1. BATALHA, M., Estudo da Estampabilidade a Quente de Aço ao Boro em Conformação com Redução de Espessura Controlada. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica na Universidade de Campinas, Campinas, 2015.
2. ECHEVERRI, E.; MATAYOSHI, T.; NISHIKAWA, A.; TSCHIPTSCHIN, A.; “**Efeito da temperatura de deformação não isotérmica no processo de estampagem a quente**”, 70º Congresso Anual da ABM, Rio de Janeiro, 2015.
3. MAKI, T. et al, Mechanical Link Servo Press for Hotforming. **In Proceedings of Hot Sheet Metal Forming of High-Performance Steel**, 5º International Conference, p. 179–187, 2015.
4. WORLD AUTO STEEL. **Advanced High Strength Steel (AHSS) Application Guidelines**, Version 4.0, 2009. Disponível em: <<http://www.worldautosteel.org>>. Acesso em: janeiro 2018.

PROCESSING AND CHARACTERIZATION OF BORON STEEL (HOT STAMPING)

ABSTRACT

With the increase in demand and development of the automotive sector, where it becomes important to improve the efficiency of energy consumption of vehicles, it is possible to observe the need for materials that are both light and have high mechanical strength. The hot stamping process is one of the alternatives for forming high-strength steels. These steels are characterized by unique microstructures and metallurgical properties that enable car manufacturers to meet the diverse functional requirements of vehicles. Boron steel is suitable for mechanical hot forming. However, currently, there is a patent that generates a technological restriction for the processing of hot stamping. The objective of this work is to evaluate the characteristics of a steel so that a new processing alternative can be proposed.

Keywords: *boron steel, hot stamping, dilatometry.*