

EFEITO DA VARIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE ENCHARQUE NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO AÇO SAE 1050 PROCESSADO NO RECOZIMENTO EM CAIXA DA USIMINAS¹

*Edson José Fagundes*²
*João Francisco Batista Pereira*³
*Ronaldo Barbosa*⁴

Resumo

Neste trabalho objetivou-se avaliar o efeito de diferentes tempos e temperaturas de encharque, do recozimento em caixa, nas propriedades mecânicas do aço SAE 1050. Amostras do material laminadas a frio foram submetidas a tratamentos térmicos em escala de laboratório, variando-se a temperatura e o tempo de tratamento. Os resultados mostraram que tanto o tempo quanto a temperatura de encharque exerceram influência sobre as propriedades mecânicas do aço. Ficou caracterizado que as variações no limite de escoamento (LE), no limite de resistência (LR) e alongamento (ALO) foram afetadas pelas modificações morfológicas verificadas tais como, variação no tamanho de grão e na quantidade de partículas de carbonetos na estrutura. Notou-se ainda que, para todas as condições propostas, ocorreu a transformação da cementita em carbonetos parcialmente ou totalmente esferoidizados.

Palavras-chave: Recozimento em caixa; Propriedades mecânicas; Esferoidização.

EFFECT OF SOAKING CONDITIONS VARIATION ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF SAE 1050 STEEL PROCESSED AT USIMINAS BOX ANNEALING

Abstract

The objective of this work is the evaluation of different times and soaking temperatures at box annealing, on mechanical properties an SAE1050 steel. Cold rolled samples were submitted to heat treatments in laboratory scale, varying the temperature and time of treatment. The results show that either time or soaking temperature influenced the mechanical properties of the steel. It is shown that, the yield strength, tensile strength and elongation is affected by morphologic modifications such as grain size modification and the amount of particles present in the structure. It was noticed that for all the conditions used here the carbides changed from lamellar to approximately spherical form particles.

Key words: Box annealing; Mechanical properties; Spheroidization.

¹ *Contribuição técnica ao 45º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 21 a 24 de outubro de 2008, Ipojuca - Porto de Gainhas - PE*

² *Membro da ABM; Engenheiro Metalurgista, M.Sc.; CQE/ASQ; Superintendência de Laminação a Frio da Usiminas; Ipatinga, MG.*

³ *Membro da ABM; Engenheiro Metalurgista, M.Sc.; Superintendência do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas; Ipatinga, MG.*

⁴ *Membro da ABM; Prof., Dr.; Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da UFMG; Belo Horizonte, MG.*

1 INTRODUÇÃO

Os aços na condição de trabalhado a frio apresentam uma maior energia interna quando comparados com o mesmo material não deformado. Com o adicional de tempo e temperatura, o material se transforma revertendo para uma condição livre de deformação. O processo global pelo qual ocorre a restauração das propriedades do material é chamado de recozimento, sendo que este processo apresenta grande importância comercial por restaurar as propriedades dos aços.

Neste trabalho, estudou-se o efeito da temperatura e do tempo de encharque, nas propriedades mecânicas de um aço médio carbono. Foram avaliados o limite de escoamento (LE), limite de resistência (LR) e alongamento (ALO) das amostras do aço SAE 1050, produzido em escala industrial até a laminação a frio e recozidas em laboratório, simulando os ciclos de recozimento em caixa em oito condições de tempo e temperatura.

Avaliou-se, também, a morfologia das amostras visto que, segundo Rocha et al.⁽¹⁾, as alterações nas propriedades mecânicas de um aço médio carbono estão diretamente relacionadas às mudanças morfológicas na estrutura ocorridas após o recozimento, onde a cementita se transforma em carbonetos parcialmente ou totalmente esferoidizados que se distribuem na matriz ferrítica. Esta mudança na morfologia dos carbonetos, juntamente com o efeito do tamanho de grão ferrítico, irão conferir as propriedades mecânicas finais ao produto.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Oito amostras provenientes da linha de tiras a quente da Usiminas foram laminadas a frio até a espessura de 1,93 mm (redução de 42%) e recozidas em laboratório, simulando o recozimento em caixa. Os tratamentos térmicos foram realizados em um forno elétrico tipo mufla com atmosfera controlada (nitrogênio). Oito condições diferentes de tratamento foram aplicadas, sendo estas condições apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Ciclos de recozimento aplicados às amostras.

Condição	Ciclo de recozimento	
	Tempo de encharque (h)	Temperatura de encharque (°C)
A1	4	710
A2	10	
A3	19	
A4	27	
A5	35	
B1	19	650
B2		670
B3		690

Posteriormente aos tratamentos térmicos, corpos-de-prova de tração foram retirados das amostras para a determinação do limite de escoamento, limite de resistência e alongamento, conforme norma EN 10.002-1-1990.⁽²⁾ Os testes de tração foram conduzidos em uma máquina INSTRON de 10t, em corpos-de-prova confeccionados conforme a norma ASTM-E-8.⁽³⁾

Avaliações da microestrutura foram realizadas utilizando-se microscopia eletrônica de varredura com ampliação de 4000 vezes. As micrografias geradas no microscópio eletrônico de varredura foram avaliadas através de um software

analisador de imagens, o QUANTIMET[®], obtendo como resultado o número de partículas por 1230 μm^2 .

Para determinação do tamanho de grão ferrítico foi utilizado o método dos interceptos nas direções horizontal e vertical, conforme norma ASTM E112-96,⁽⁴⁾ em diversas posições das amostras. Um mínimo de 250 interceptos foram contados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estrutura do aço na condição de laminado a quente foi avaliada e apresentou-se composta, basicamente, por perlita lamelar e ferrita pró-eutetóide, numa proporção aproximada de 66% e 34%, respectivamente. Após a laminação a frio e recozimento em laboratório, simulando os ciclos de recozimento em caixa, observou-se uma mudança na estrutura, onde a cementita que se encontrava de forma lamelar se transformou em carbonetos aproximadamente esféricos dispersos na matriz ferrítica, conforme Figura 1.

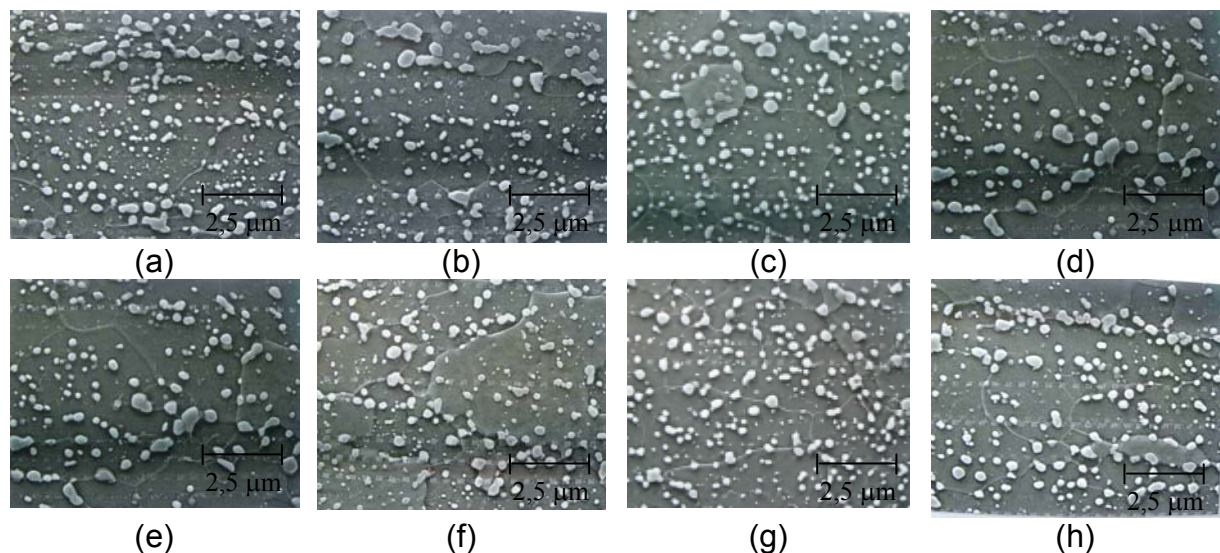


Figura 1. Microestruturas das amostras do aço SAE 1050 laminado a frio e recozido em laboratório T=710°C (a-4h; b-10h; c-19h; d-27h e-35h); t=19h (f-650°C; g-670°C; h-690°C). Ataque: picral 4%.

As amostras apresentaram, após o recozimento, carbonetos parcialmente ou totalmente esferoidizados, dispersos tanto no interior como nos contornos de grãos ferríticos, sendo que os últimos se apresentaram de forma grosseira. Segundo Rocha:⁽¹⁾ a maior facilidade de difusão nos contornos, em virtude da maior quantidade de defeitos e, conseqüentemente, uma maior energia disponível, propiciaria a formação de partículas mais grosseiras.

Observou-se que, as amostras tratadas em condições cinéticas menos favoráveis ou seja, valores mais baixos de tempo e de temperatura, apresentaram uma maior quantidade de carbonetos. Desta forma pode-se inferir que o caminho livre médio diminuiu com a severidade do tratamento, isto é, temperaturas mais altas ou tempos mais longos. As micrografias das amostras tratadas nas condições menos favoráveis são apresentadas nas Figuras 1a , 1f.

Já em condições cinéticas mais favoráveis ocorreu o coalescimento dos carbonetos formados, com conseqüente aumento no tamanho e diminuição de sua quantidade. Portanto, a amostra tratada na melhor condição cinética apresentou a menor quantidade de carbonetos por área, sendo que a micrografia desta amostra pode ser visualizada na Figura 1e.

Verificou-se para as oito condições de tratamento a completa ausência da estrutura lamelar, mesmo para as condições cinéticas menos favoráveis ou seja, menor tempo e temperatura mais baixa. Isto parece ser razoável uma vez que o material sofreu deformação a frio. Neste caso, a deformação a frio auxiliou no processo de esferoidização dos carbonetos, através da inserção de novos locais de maior difusividade na rede cristalina do material, podendo citar as discordâncias e contornos de sub-grãos. Outra contribuição da deformação a frio seria a quebra das colônias de perlita que também atuariam para acelerar a cinética de esferoidização.

As Figuras 2 e 3 apresentam, respectivamente, as variações do número de carbonetos (NC) por área e do tamanho de grão ferrítico (TG) em função da temperatura e do tempo de encharque.

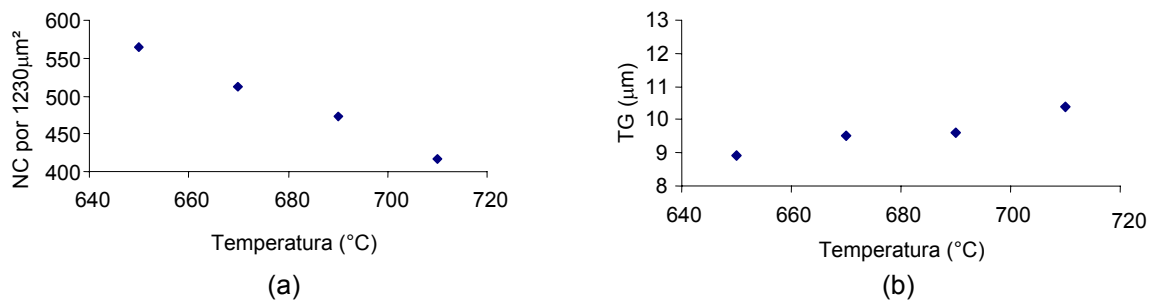


Figura 2. Variação do (NC) por área e do (TG) em função da temperatura de encharque para t=19h.

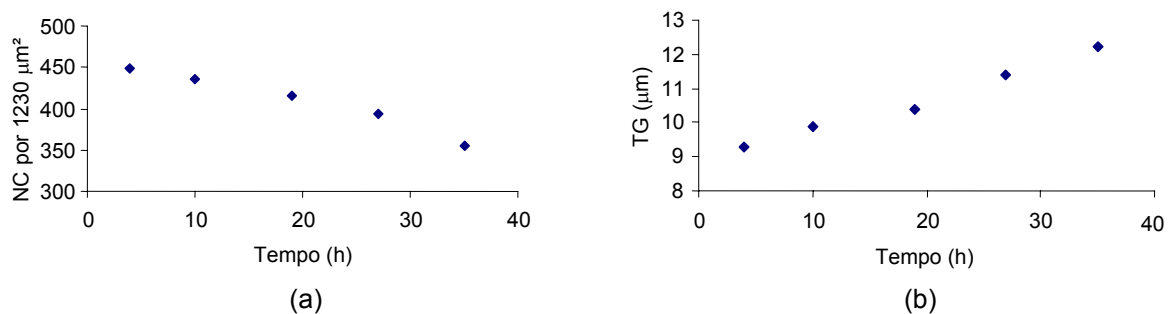


Figura 3. Variação do (NC) por área e do (TG) em função do tempo de encharque para uma T=710°C.

Pelas Figuras 2 e 3, nota-se que em condições cinéticas favoráveis, ou seja, maior tempo e temperatura de encharque, ocorreu redução do número de carbonetos e aumento do tamanho de grão. Por ser a difusão o principal mecanismo do processo de esferoidização dos carbonetos, esperava-se menor NC por área em condições cinéticas mais favoráveis, conforme apresentado nas Figuras 2a e 3a.

As Figuras 2b e 3b apresentam a variação do tamanho de grão com a temperatura e o tempo de encharque, onde as condições de maior difusividade apresentam maior tamanho de grão.

Portanto, a mudança na forma dos carbonetos, no espaçamento entre os carbonetos esferoidizados, juntamente com a variação no tamanho de grão ferrítico, foram responsáveis pela variação nas propriedades mecânicas do aço, variações estas que são apresentadas na Figura 4.

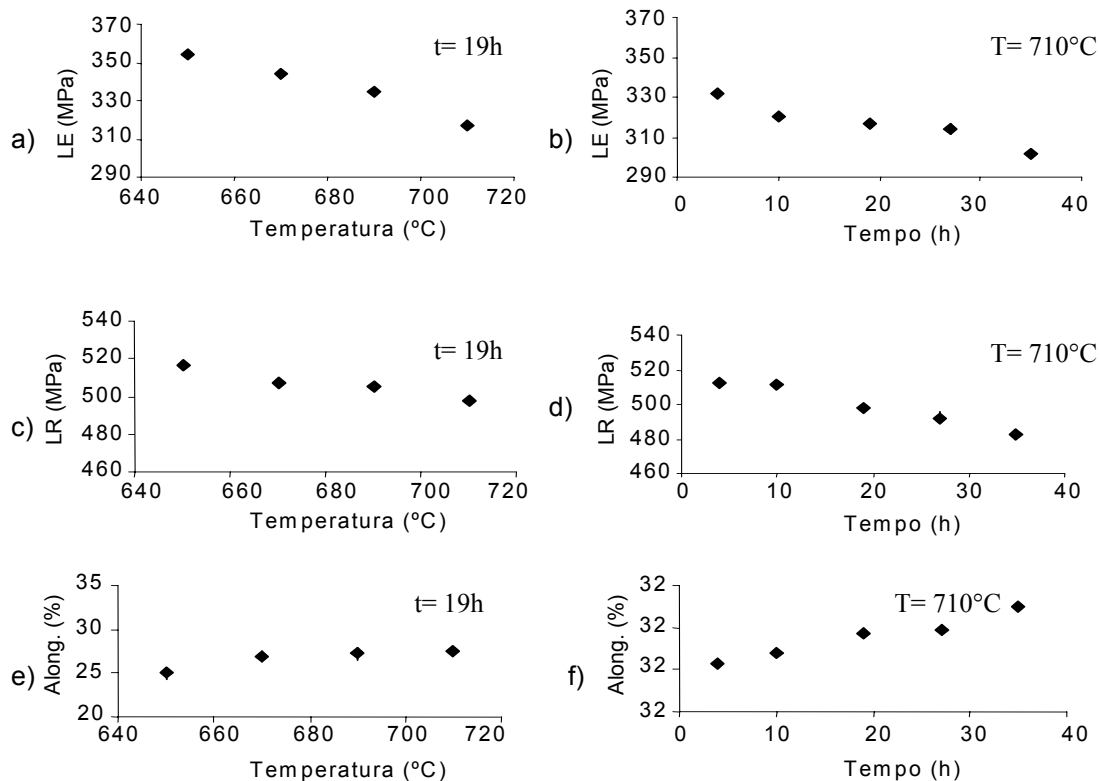


Figura 4. Valores de LE, LR e ALO das amostras do aço SAE 1050 em função da temperatura e do tempo de encharque.

As Figuras 4a-d apresentam a variação do LE e do LR com a temperatura e tempo de encharque. Nota-se uma tendência de queda nos valores de LE e LR com o aumento da temperatura ou do tempo de encharque. O que pode ser explicado pela transformação da cementita lamelar em carbonetos esferoidizados e, posteriormente, pelo coalescimento destes carbonetos, ocasionando uma queda na densidade de partículas. Estes fenômenos resultariam em um maior caminho livre para movimentação das deslocações na estrutura do material que, em conjunto com um maior tamanho de grão, torna o material menos resistente a deformação.

Com relação ao alongamento (Figuras 4e e 4f), verifica-se um aumento do alongamento com as elevações da temperatura e tempo de encharque. Tal comportamento segue a evolução da microestrutura do aço SAE 1050, inicialmente com uma maior energia livre (ferrita + perlita), para uma estrutura de mais baixa energia livre (ferrita + carbonetos esferoidizados). Deste modo, com o desaparecimento da estrutura lamelar e o crescimento dos carbonetos globulares, mais uma vez o aumento do livre caminho médio será determinante para obtenção de maiores valores de alongamento.

Considerando ainda que os carbonetos apresentam geometria esférica e estejam igualmente espaçados na matriz ferrítica, infere-se que, com o aumento da temperatura ou do tempo de recozimento a distância média entre eles aumentaria, já que o número de partícula por unidade área reduziu. Baseando-se nesse argumento e nos valores dos tamanhos de grão ferrítico (Figuras 2b e 3b), verificou-se que o LE do aço em estudo apresentou um comportamento que, de certa forma, pode ser descrito pela equação de Syn et al.,⁽⁵⁾ sofrendo influência tanto do tamanho de grão quanto do espaçamento entre as partículas.

4 CONCLUSÕES

O aço SAE 1050 foi processado variando-se as condições de tempo e temperatura de encharque, notou-se que tanto a temperatura quanto o tempo de recozimento afetaram as propriedades mecânicas em tração, observando variação na resistência do material, caracterizadas pela mudanças no tamanho de grão ferrítico e na quantidade de carbonetos esferoidizados.

O limite de escoamento diminuiu com as elevações da temperatura e do tempo de encharque, influenciado pelas mudanças no tamanho de grão e na quantidade de partículas esferoidizadas, comportamento este que vai ao encontro da equação proposta por de Syn, Lesuer e Sherby.⁽⁵⁾ Já o alongamento aumentou com as elevações da temperatura e do tempo de encharque.

Verificou-se também que, para todas as condições de encharque propostas neste trabalho, ocorreu a transformação da cementita, típica deste aço anterior ao recozimento, em carbonetos parcialmente ou totalmente esferoidizados.

REFERÊNCIAS

- 1 ROCHA, M. R.; OLIVEIRA, C. A. S. Avaliação dos Parâmetros Microestruturais de um Aço SAE 1045 esferoidizado e sua Correlação com as propriedades Mecânicas. LV CONGRESSO ABM. Rio de Janeiro, Jul. 2000.
- 2 EN 10.002-1-1990. Tensile Testing of Metallic Materials. Part 1 - Method of Plot at Ambient Temperature, 2001.
- 3 ASTM-E-8. Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials.
- 4 ASTM E112-96. Standard Test Methods for Determining Average Grain Size.
- 5 SYN, C. K.; LESUER, D. R. e SHERBY, O. D.; Metallurgical and Materials Transactions, 25A, n.1481, 1994.