



MODELAGEM MATEMÁTICA DE TRATAMENTO TÉRMICO DE REVENIMENTO EM CHAPAS ASTM A 516 GR 70N UTILIZADO PARA FABRICAÇÃO DE VASOS DE PRESSÃO.

Daniel Aquino Jóia

Paulo Venuto dos Reis Neto

Pedro Américo Almeida Magalhães Junior

Norberto Martins

danielaquinojoia@bol.com.br

paulovenuto@hotmail.com

paamj@oi.com.br

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Av. Dom José Gaspar, 500 - Coração Eucarístico – Prédio 10 - Belo Horizonte - MG – CEP 30535-901 - Brasil

Abstract. *Este trabalho constitui na análise do modelo matemático proposto por Hollomon-Jaffe de um tratamento térmico de têmpera e revenimento de amostras tomadas a partir das placas de teste utilizados para a fabricação de vasos de pressão, a fim de aumentar a energia absorvida pelo material no teste de impacto à baixa temperatura (-31°C) e melhorar a qualidade do material, aumentando a sua resistência a fratura em baixas temperaturas. Utilizamos recursos computacionais para elaboração de gráficos e resoluções matemáticas.*

Keywords: *Modelo matemático, tratamento térmico, vasos de pressão, ensaio de impacto.*

1 INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é desenvolver atividades de pesquisa e extensão na área de metalurgia e tratamento térmico, desenvolvido para materiais utilizados na construção de vasos de pressão, equipamentos geralmente projetados para indústrias de processo, refinarias de petróleo, petroquímica, alimentos e farmacêutica.

A fratura de fadiga é a forma mais comum de falha estrutural. Esta fratura é causada pela iniciação e propagação de uma trinca em componentes e é considerado o tipo mais grave de fratura em equipamento concebido para funcionar a baixas temperaturas, como pode ocorrer em teste não-stress sob condições normais de funcionamento. O conhecimento da resistência ao impacto e à fratura de materiais, nomeadamente de aço, tem sido por um longo tempo um dos principais objetivos da engenharia mecânica. Desde a Segunda Guerra Mundial, houve grande ênfase no estudo da temperatura de transição dúctil-frágil por testes de impacto Charpy, a fim de conhecer o comportamento destes aços e prevenir a ocorrência de fraturas frágeis. No entanto, a relação entre os resultados de tais ensaios e tais fraturas não pode ser generalizada para qualquer espessura estrutura e resistência mecânica. Além disso, a transição de tipos dúctil-frágil de comportamento de fratura ocorre, geralmente com a mudança nas condições de ensaio, tais como estado de tensão, temperatura ou taxa de deformação (Barsom & Rolfe, 1987).

A tendência atual de designers mecânicos está a trabalhar na base de valores de características de resistência à fratura dos materiais. Estes resultados obtidos em testes mecânicos de fratura são aplicados em projetos e na determinação do tempo de vida do equipamento e componentes industriais. Geralmente, considera-se que a propagação da fissura ocorre quando a tensão no vértice da fenda excede um valor crítico. Tem sido sugerido o uso de média tensão ou deformação a certa distância a partir do vértice de trincas como um critério (Anderson, 1995).

As condições de propagação ou não de trinca são significativamente afetados por variáveis como a relação de tensão, microestrutura e ambiente em que o produto é submetido á meios de baixa temperatura.

Levando nosso objetivo específico é desenvolver novos conhecimentos no ramo de engenharia metalúrgica e tentar trazer soluções simples que podem contribuir para melhorar a qualidade do produto fornecido para a indústria, usando ferramentas tecnológicas adequadas, conhecimentos científicos, e buscando alternativas para resolver os problemas identificados. Portanto, adquirindo a capacidade de desenvolver novos produtos, aumentando a competitividade com informação sólida e confiável.

Os principais problemas a serem evitados na construção de um vaso de pressão são deformação elástica excessiva, instabilidade elástica, deformação plástica excessiva, evitando a instabilidade plástica, elevadas tensões localizadas, fluência a alta temperatura, fratura frágil a baixas temperaturas, a fadiga, corrosão;

1.1 Tratamento Térmico

O tratamento térmico utilizado nestas amostras foi têmpera em água e revenimento com temperatura variando entre 150° C a 700° C com intervalos de 50° C, nos tempos de 3.600 segundos e 7.200 segundos.

2 METODOLOGIA

O material utilizado para a pesquisa foi chapa de aço ASTM A-516 70N na condição de laminado a quente e normalizado. Vinte e quatro corpos-espécime foram obtidos e numerados de 1 a 24, para a identificação durante o processo. Posteriormente, vinte e quatro dos corpos-de-prova foram levados ao forno, a temperatura de 920°C por um período de 30 minutos, para austenitização. Após a imersão, as amostras foram removidas do forno e arrefeceu-se em água.

A têmpera foi realizada nos tempos de 1 e 2 horas, respectivamente, para cada uma das temperaturas de têmpera. As temperaturas foram de 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 650, 700 ° C e arrefecimento em ar. Cada órgão do corpo de prova foi submetido a três testes de dureza HRC.

Para o ensaio metalográfico foram utilizadas quatro amostras, uma normalizada, uma temperada e duas revenidas às temperaturas de 400 °C e 600 °C durante duas horas.

3 RESULTADOS

3.1 Análise dos Gráficos

Segue abaixo tabela 1, contendo os dados experimentais do tratamento térmico de têmpera e revenimento para 1 hora (3600 s) e 2 horas (7200 s).

Tabela 1 - Valores de dureza obtidos no tratamento térmico.

Amostra	Material Normalizado				Temperatura Revenimento (°C)	Tempo Revenimento (horas)	Material Temperado & Revenido			
	Dureza Rockwell C			Dureza Média (HRC)			Dureza Rockwell C			Dureza Média (HRC)
1	44	45	46	45	150	1	35	34	35	35
2	40	40	39	40	200	1	38	39	37	38
3	42	42	39	41	250	1	40	38	38	39
4	42	40	43	42	300	1	40	38	37	38
5	38	39	40	39	350	1	35	34	32	34
6	38	38	41	39	400	1	22	22	23	22

7	38	38	39	38	450	1	26	26	25	26
8	38	39	39	39	500	1	13	13	13	13
9	37	37	36	37	550	1	19	20	19	19
10	38	36	37	37	600	1	9	8	8	8
11	39	39	40	39	650	1	15	15	15	15
12	36	36	37	36	700	1	10	11	11	11
13	44	49	46	46	150	2	39	39	40	39
14	39	40	43	41	200	2	36	36	39	37
15	41	41	39	40	250	2	34	34	33	34
16	40	42	43	42	300	2	34	33	33	33
17	42	39	39	40	350	2	36	36	36	36
18	38	39	39	39	400	2	25	25	26	25
19	37	38	37	37	450	2	25	26	26	26
20	44	44	44	44	500	2	14	15	14	14
21	36	35	35	35	550	2	16	16	15	16
22	45	45	46	45	600	2	10	10	11	10
23	37	38	39	38	650	2	11	12	10	11
24	40	39	41	40	700	2	9	9	9	9

A Figura 1 mostra a evolução dos resultados de dureza (HRC) com a temperatura e tempo de recozimento para o aço ASTM A 516 GR 70N. A dureza cai sistematicamente ao ser observado com a temperatura, devido à redução da saturação de carbono martensítico e esta diminuição é mais pronunciada a partir da temperatura de 350 ° C. O tempo de têmpera não afeta o desenvolvimento da dureza com a temperatura na gama de 1 a 2 horas.

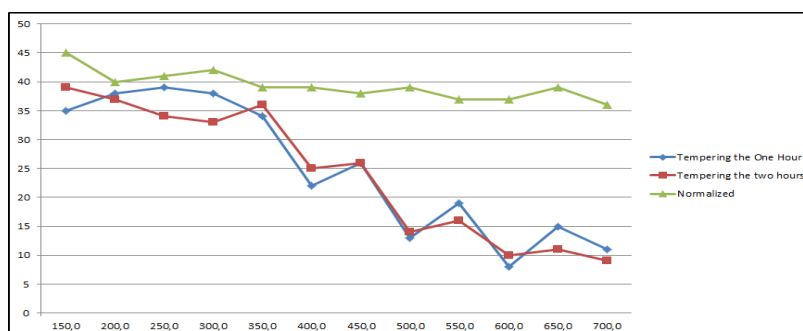


Figura 1. A evolução da dureza com a temperatura e tempo de revenimento do aço ASTM 516 GR 70N.

O parâmetro de Larson-Miller é definido como:

$$P = T(C + \log(t)) \quad (1)$$

Onde P é o parâmetro de Larson e Miller, T é a temperatura do tratamento térmico (K); C é uma constante igual a 16 para os aços carbono e varia de acordo com o material, t é o tempo em segundos para o tratamento. Este parâmetro Larson-Miller guia sobre a dureza dos aços carbono revenido e objetivamente para avaliar os efeitos do tempo e da temperatura sobre o endurecimento do aço. A racionalização dos resultados obtidos com a temperatura e o tempo são obtidos a partir das curvas de referência. Estas curvas relacionam com o parâmetro dureza Larson-Miller correspondente aos respectivos tempos.

Segundo Wan, Xiong e Suo (2005), o ajuste a ser informado é (Figura 2):

$$H = a + b \times \log(t) \quad (2)$$

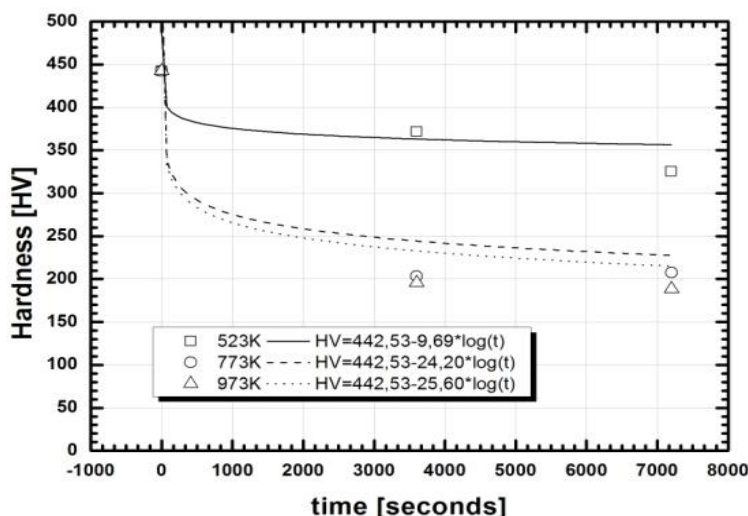


Figura 2. Ajuste para ver valor b.

Quando $a = H_1$, é o primeiro ponto de dureza na têmpera e b é:

$$b = \frac{T}{C} \times \left(\frac{dH}{dT} \right) \quad (3)$$

Assim:

$$C = \frac{T}{b} \times \left(\frac{dH}{dT} \right) \quad (4)$$

O ajuste linear foi feito para obter dH/dT (Figura 3):

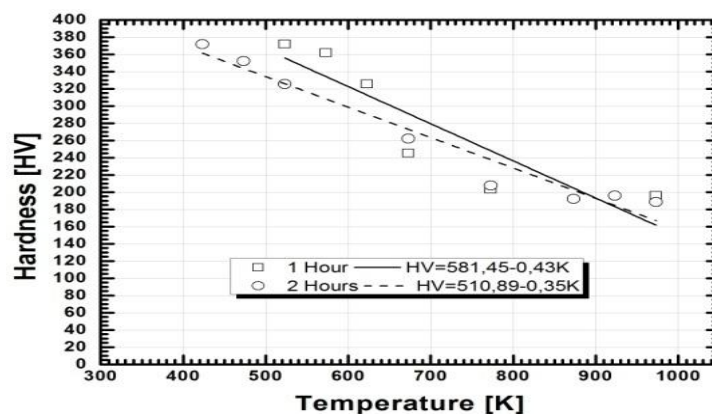


Figura 3. Os valores obtidos para dH/dT .

$$H1 = -0,353T + 510,89 \text{ (HV)} \quad (5)$$

$$\left(\frac{dH1}{dT}\right) = -0,353 \quad (6)$$

O valor utilizado foi de 2 horas (7200 s) de revenimento (-0,35).

Assim, o valor da constante C foi calculada e mostrada na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores calculados a constante C

Temperatura	C
523	19,08832021
773	15,19631641
973	13,44141595
Média	15,90868419

A Figura 4 mostra as curvas de referência para o aço ASTM A 516 GR 70N, onde é observada a existência de duas linhas paralelas de melhor ajuste para o mesmo tempo de revenimento. As temperaturas mais baixas e menores do que 350 °C, não se observou queda acentuada na dureza com este tempo de têmpera de 1 hora (3600 s). Confirmou-se, por sua vez, o valor da constante C para aços carbono que é igual a 16, desde que os valores de dureza compreendidos entre 200 °C e a temperaturas acima de 400 °C, em que a cinética do processo é, respectivamente, lenta e rápida.

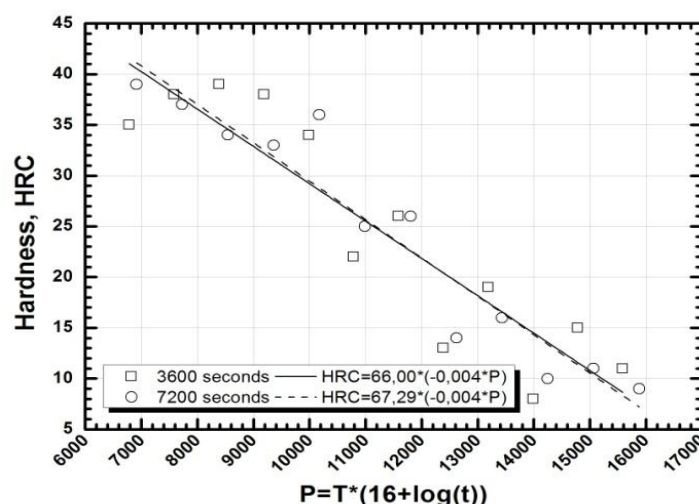


Figura 4. Curva de referência Larson-Miller para o aço ASTM A 516 GR 70N temperado e revenido.

A Figura 4 mostra as curvas de referência para o aço ASTM A 516 GR 70N para revenimento a temperaturas entre 150 °C e 700 °C, tempo de 2 horas (7200 s).

O tempo de revenimento de 2 horas (7200 s) diminuiu acentuadamente a dureza com temperaturas baixas em comparação com as temperaturas mais elevadas, de cerca de 600 °C. A principal vantagem da utilização do perfil de referência é a maneira compacta de como a informação pode ser apresentada. Pode-se tirar vantagem deste perfil de referência sobre a dureza com o parâmetro de Larson-Miller para aços carbono.

3.3 Teste de Impacto

Ap6s o revenimento os corpos de prova foram submetidos ao teste de impacto (Charpy) para medir a quantidade de energia absorvida em baixas temperaturas (-31°C). O gr6fico da Figura 5 mostra a quantidade de energia absorvida por amostras de ensaio ap6s t6mpera e revenimento.

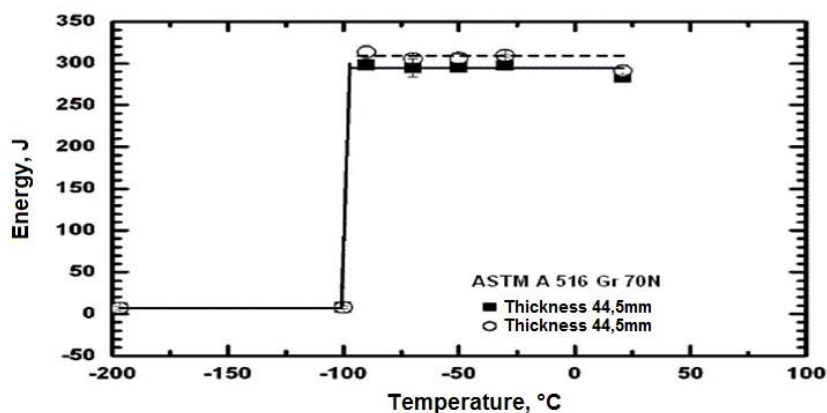


Figura 5. Carta de teste de impacto para a6o ASTM A 516-70N temperado e revenido.

4 CONCLUS6O

Observou-se um aumento significativo na energia absorvida durante o teste de impacto a baixa temperatura, em rela66o ao material ASTM A 516 Gr 70 normalizado utilizado para a produ66o de vasos de press6o para armazenamento de g6s natural em que trabalham a baixas temperaturas.

Com o aumento da energia absorvida no teste de impacto (Charpy) devido ao tratamento t6rmico 6 a necessidade de impedir a propaga66o r6pida de trincas no plano cristalogr6fico devido 6 queda de temperatura e aumento da taxa de deforma66o pl6stica chamada fratura fr6gil em que os planos cristalogr6ficos s6o quebrados por clivagem ocorrendo um desacordo na rede cristalina. O material obtido ap6s o tratamento t6rmico tem uma melhor qualidade de resistir a este tipo de fratura a temperaturas baixas em compara66o com apenas o material padr6o ASTM A 516 Gr 70N.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores generosamente agradecem o apoio da Pontif6cia Universidade Cat6lica de Minas Gerais – PUCMINAS, o Conselho Nacional de Desenvolvimento Cientifico e Tecnol6gico - CNPq – e a Funda66o de Amparo a Pesquisa de Minas Gerais – FAPEMIG.

REFER6NCIAS

ASTM E 23/96 Standard Methods for Notches Bar Impact Testing of Metallic Materials ". American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 1996

ASTM E 647-99 Standard Test Method for Measurement of Fatigue Crack Growth Rates American Society of Metallic Materials. Philadelphia, 1999

SHEEP, T., Cescon, T. Effect of normalization variables in the steel impact properties of ASTM A-516 Metallurgy, Vol. 39, No. 305, April 1983.

CDTN Internal Technical Report on Use of the Machine Instron Wolpert PW30 2003.

CRUZ, G.M.; ADEL DOS SANTOS, A.; SANTOS, D.B. Evaluation of standardization processing variables and tempering of ASTM -516-70N and USI-AR360Q steel heat treatment furnace 2 Usiminas Technology in Metallurgy and Materials, v.1, No. 4, p 6-10, 2005.

DOHERTY, RD, JW MARTIN SINGER, B. Stability of Microstructure in Metallic Systems. 1997

GARCIA, A; ALVARES SPIM, J; SANTOS, CA Testing of Materials Scientific Technical - Books 2000.

GRANGE, R.A. Metallurgical Transactions. vol.2, pp. 417, 1971.

Krauss, G., Heat Treatment and Materials Processing Principles Park American Society for Metals, 1992.

MIGUEL SOARES, J.C.; Goncalves, C.L. WANDERLEY, R. ; CASTILHO, A.H; RUDDER BAY, l.h; SILVA, FF tempering temperature influence on toughness of a steel 300M Metallurgy Brazilian Association of Metallurgy v 40, June, pp 305-309, 1984.

MORAIS, G. A. Tempering of Carbon Steels: A Rationalization 42nd Annual Congress of ABM, Salvador, October, 1987.

NAKASHIMA, J.T.; VIEIRA, A.; ARAUJO A., FL Industrial Development hardened and tempered heavy plate to 1200N / mm² low temperature with resistance tempering Rolling Seminar flat products and no plans, September, Recife, 1984.

WAN, N.; XIONG, W.; SUO, J. Mathematical Model for Tempering Time Effect on Quenched Steel Based on Hollomon Parameter, Journal of Materials Science and Technology, v.21, n.6 p. 803-806, 2005.