

INFLUÊNCIA DE ASPECTOS MICROESTRUTURAIS NA RESISTÊNCIA À FRATURA DE AÇO ESTRUTURAL COM APLICAÇÕES OFFSHORE

Aluno: Tiago Sampaio Leonardos
Orientador: Marcos Venicius Soares Pereira

I – Introdução

A exploração de petróleo no mar é responsável por porcentagens cada vez maiores e crescentes da produção mundial desta riqueza. O grande potencial exploratório em águas profundas leva as empresas do setor do petróleo a buscarem o conhecimento tecnológico necessário para viabilizar a exploração e produção em alto mar. Paralelamente à busca de novas tecnologias de exploração e produção, a diminuição do risco de falha estrutural, bem como a previsão da vida útil de sistemas, instalações e equipamentos em unidades do tipo *offshore* são de fundamental importância para países, como o Brasil, que se acham seriamente empenhados num processo de expansão industrial. A previsão da vida útil, por estar intimamente associada à garantia da integridade estrutural do componente, é vital para a implantação de uma política economicamente viável que possa quantificar o dano presente em tais componentes, de maneira a prever de maneira confiável a sua vida residual e programar ações de extensão de sua vida útil.

O processo de soldagem por centelhamento vem sendo empregado de maneira crescente na fabricação de peças para a indústria automobilística e, principalmente na fabricação de componentes estruturais com aplicação em sistemas de ancoragem de unidades *offshore*. Como tal processo de soldagem produz alterações microestruturais no material e, conseqüentemente, modifica as características mecânicas da junta, tratamentos térmicos pós-soldagem se tornam indispensáveis para a otimização do desempenho em serviço de amarras para unidades flutuantes *offshore*. Por exemplo, a resistência ao impacto das juntas soldadas por centelhamento sem tratamento térmico posterior apresenta uma queda acentuada, se comparada ao metal base. Dependendo do tipo de aço, esta diminuição da resistência ao impacto pode atingir até 100%, comprometendo a integridade da junta e, conseqüentemente, do próprio componente.

II - Procedimento Experimental e Resultados

A Tabela 1 apresenta a composição química característica do aço estrutural R4, adotado em sistemas de fundeio de unidades *offshore* e selecionado para a pesquisa. Barretas cilíndricas com diâmetro e comprimento de 16 mm e 120 mm, respectivamente, foram usinadas das seções retas de elos com 76 mm de diâmetro posição 2/3 do raio e apresentado seu eixo longitudinal coincidente com a direção de laminação da barra. A Figura 1 mostra esquematicamente a posição de retiradas das barretas.

As barretas foram austenitizadas em forno estacionário na temperatura de 900°C durante 90 minutos sendo, posteriormente, resfriadas em água. Após o tratamento de têmpera, as barretas foram submetidas a tratamento de revenimento em forno estacionário, para o qual foram selecionadas sete temperaturas (600, 620, 640, 660, 680, 700 e 720°C) e sete tempos (60, 75, 90, 105, 120, 135 e 150 minutos), perfazendo um total de 49 condições diferentes de revenimento. A Tabela 2 resume as diferentes condições de revenimento adotadas.

Tabela 1 - Composição Química do Material (% em peso)

C	Mn	Cr	Ni	Mo	V	Ti
0,22	1,0	1,1	0,6	0,3	0,07	0,01

Tabela 2 – Resumo das Simulações em Função das Temperaturas e Tempos de Tratamento

	600° C	620° C	640° C	660° C	680° C	700° C	720° C
60'	1	8	15	28	33	36	43
75'	2	9	16	22	34	37	44
90'	7	10	17	23	35	38	45
105'	5	11	18	24	31	39	46
120'	6	12	19	25	32	40	47
135'	3	13	20	26	29	41	48
150'	4	14	21	27	30	42	49

Após os tratamentos térmicos de revenimento, corpos de prova de impacto do tipo Charpy (Figura 2) foram usinados das barras e ensaiados na temperatura de -20°C, de acordo com a norma ASTM E-23-04 [1], utilizando uma máquina marca AVK-Budapest.

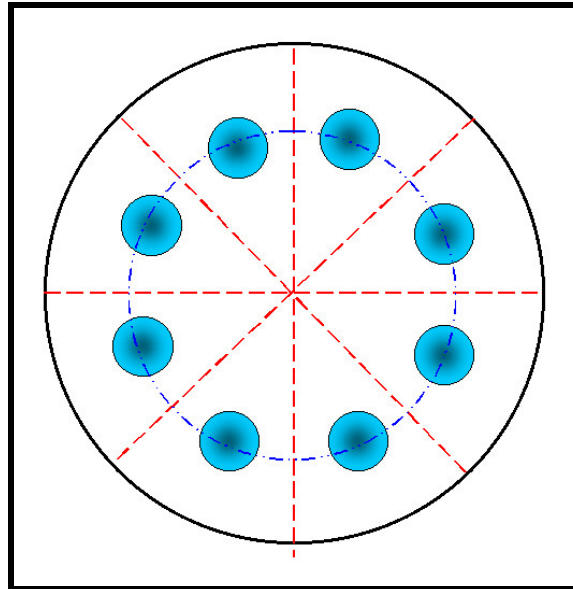


Figura 1 – Posição de retira das barretas em função do diâmetro do elo.

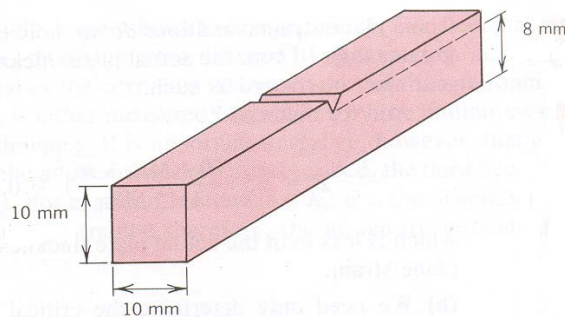


Figura 2 - Geometria do corpo de prova Charpy [2].

A Tabela 3 apresenta os resultados dos ensaios de impacto. Nesta tabela, os valores da energia absorvida no impacto (E_{exp}) estão apresentados em função da temperatura (T) e do tempo (t) adotados para as simulações dos tratamentos térmicos de revenimento.

Tabela 3 - Energias ao impacto para diferentes condições de revenido

T (°C)	t (min)	E _{exp} (J)				
600	60	2,1	2,1	2,1	1,5	2,2
	75	1,8	1,2	1,2	1,4	1,6
	90	3,0	2,7	2,5	2,4	3,0
	105	2,0	0,9	1,0	1,2	1,2
	120	2,1	1,9	1,8	1,7	1,5
	135	2,3	1,4	1,2	1,3	2,3
	150	2,3	2,1	1,9	1,6	2,0
620	60	2,3	2,0	1,6	1,0	1,8
	75	2,6	1,8	2,2	2	2,2
	90	2,6	3,2	2,4	1,6	2,2
	105	3,0	2,8	3,0	2,8	2,6
	120	2,8	2,4	2,4	2,4	2,6
	135	2,2	2,2	2,2	2,2	2,4
	150	5,0	4,0	3,2	3,0	3,6
640	60	2,6	2,6	2,8	2,8	2,4
	75	2,2	2,0	2,0	1,8	2,6
	90	6,2	4,4	4,0	4,6	6,6
	105	7,4	8,2	5,8	5,0	7,4
	120	6,0	6,6	6,4	5,0	5,6
	135	3,4	3,6	2,7	3,5	3,9
	150	9,2	7,2	8,0	6,2	7,4
660	60	3,2	3,1	2,8	3,1	2,0
	75	15,0	7,9	5,9	8,8	14,2
	90	15,3	15,4	14,6	15,1	14,8
	105	5,5	3,4	3,5	3,1	3,4
	120	14,3	14,4	9,3	14,7	14,1
	135	6,5	6,0	4,9	5,5	6,9
	150	7,9	7,2	6,7	6,8	11,6

680	60	4,2	3,6	3,3	2,9	2,7
	75	14,2	12,8	8,5	8,0	10,8
	90	13,2	9,8	14,6	14,0	10,8
	105	15,5	15,9	14,6	13,6	13,4
	120	16,0	15,7	15,4	15,6	15,5
	135	16,2	15,6	16	16,7	16,9
	150	17,2	16,4	15,6	17,0	16,0
700	60	14,8	15,3	16,2	16,0	16,0
	75	15,8	15,6	15,0	14,5	16,1
	90	17,4	16,7	16,3	16,7	16,2
	105	15,7	15,9	13,7	16,3	16,0
	120	17,2	18,0	19,0	17,7	19,4
	135	16,0	17,2	17,0	17,2	16,4
	150	17,2	17,0	19,8	19,1	18,4
720	60	16,0	16,8	16,8	16,5	16,0
	75	17,8	18,8	18,3	19,1	17,6
	90	18,7	18,1	19,6	18,6	19,2
	105	16,8	18,6	18,0	17,3	16,8
	120	17,6	17,4	17,8	18,7	18,5
	135	18,9	19,7	21,0	21,3	19,9
	150	20,7	19,9	21,1	20,0	20,0

A análise da tabela anterior permite constatar que nem todas as combinações entre temperaturas e tempos de revenido foram suficientes para conferir uma boa resistência ao impacto ao aço estrutural R4. Pode-se notar que baixos valores de energia aparecem na tabela associados com menores temperaturas e tempos de tratamento. Por sua vez, menores temperaturas e tempos de tratamento representaram condições termodinâmicas menos favoráveis para promover a transformação da martensita em martensita revenida. Portanto, as simulações desenvolvidas em temperaturas e tempos mais baixos não produziram nenhum efeito sensível de transformação microestrutural na martensita formada no tratamento térmico de têmpera pós-soldagem. Visando modelar numa forma matemática a relação entre E, T e t, foram propostas as seguintes equações [3]:

$$E = \varepsilon (\theta) + \eta (\tau, \theta) \quad (1)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_0 [1 + \tanh \{ \theta \}] \quad (2)$$

$$\eta = \eta_0 [(1 - \tau^2) / (\theta_1 + \theta^2)] \quad (3)$$

$$\theta = (T - T_0) / \theta_f \quad (4)$$

$$\tau = (t - t_0) / \tau_f \quad (5)$$

Adotando os valores médios de E correspondentes às diferentes condições de revenido, foram determinadas as constantes ε_0 , η_0 , θ_1 , T_0 , θ_f e t_0 , presentes nas equações acima. Os valores dessas constantes acham-se listados na Tabela 4.

Tabela 4 - Constantes presentes nas equações (2), (3), (4) e (5).

Constantes	Valores
ε_0	6,8 J
η_0	426,8 J
θ_1	80
T_0	945,6 K
θ_f	8,3 K
t_0	7482 s
τ_f	6000 s

A superfície correspondente à Eq. (1) acha-se mostrada na Figura 3, onde os eixos x, y e z representam T, E e t, respectivamente. Já a variação da energia ao impacto com a temperatura de revenido, também modelada pela Eq. (1), encontra-se apresentada na Figura 4 para diferentes tempos de revenimento.

Em relação aos parâmetros ótimos de revenido, estes foram admitidos como sendo aqueles relativos ao valor máximo da energia ao impacto. Consequentemente, a temperatura e tempo ótimos de revenido foram determinados através da maximização da função E (T, t), proposta pela Eq. (1). A Figura 5 mostra o detalhamento dessa função E (T, t) nas imediações de seu valor máximo. A análise dessa figura permite estabelecer o valor máximo de energia ao impacto como sendo equívale a 18,5 J, valor esse que corresponde a uma temperatura de 692°C e um tempo de 125 minutos.

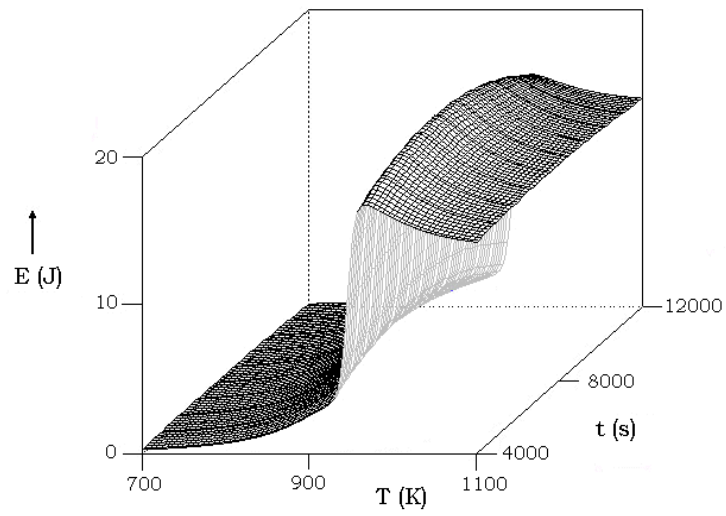


Figura 3 - Modelagem dos valores médios da energia ao impacto em função da temperatura e tempo de revenimento.

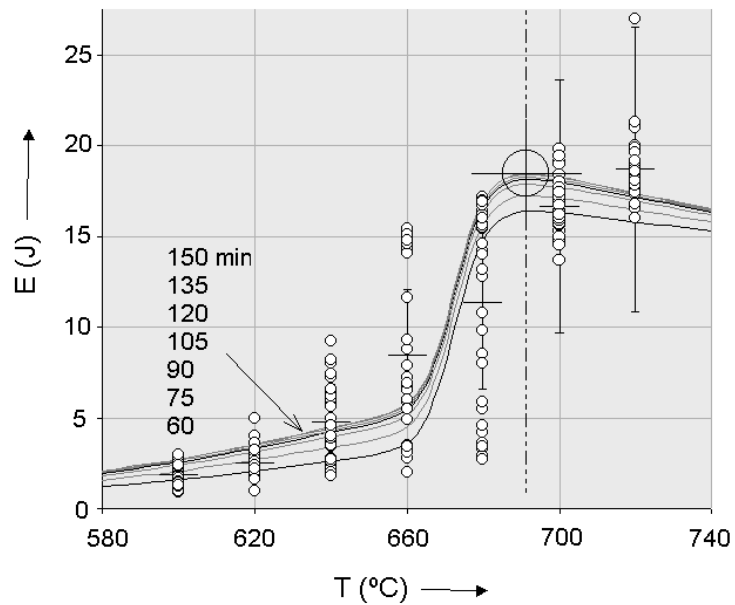


Figura 4 - Variação da energia ao impacto com a temperatura do revenido para diferentes tempos de tratamento.

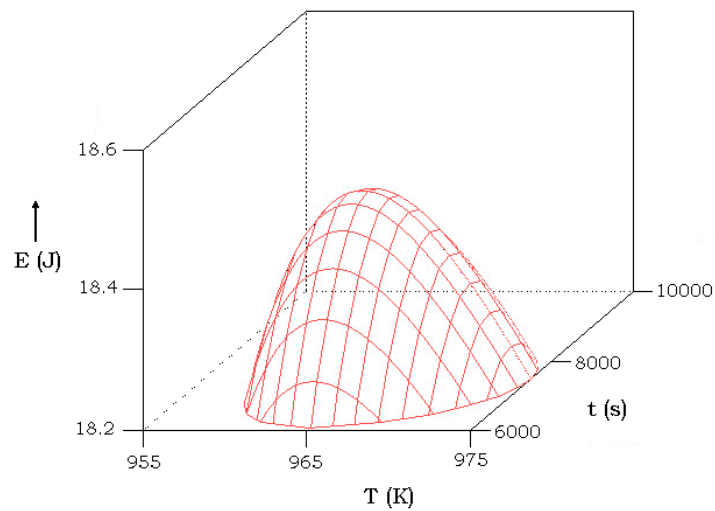


Figura 5 - Detalhamento da função $E(T, t)$ nas imediações de seu valor máximo.

III – Considerações Finais

Esta pesquisa avaliou o efeito da temperatura e do tempo de revenido sobre a resistência ao impacto de um aço estrutural do tipo R4, utilizado na fabricação de componentes para sistemas de ancoragem *offshore*. Através do modelamento matemático da energia ao impacto, foi possível a determinação da temperatura e do tempo considerados como ótimos para os tratamentos térmicos de revenimento. As conclusões da pesquisa são:

- Baixas temperaturas de revenimento não foram suficientes para proporcionar uma resistência ao impacto adequada ao material após o tratamento térmico de têmpera.
- Menores tempos de tratamento, com exceção nas temperaturas mais altas, também resultaram em baixos valores de resistência ao impacto para o material.
- Os parâmetros ótimos de revenimento no aço R4 revenido foram estabelecidos como sendo temperatura de 690°C e tempo de 125 minutos.

Referências

1. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials**. ASTM E23. Warrendale, 2004.
2. CALLISTER, W. D., **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 5. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2002. 218p.
3. PEREIRA, M.V., DARWISH, F.A. and KOHLER, H.M., **On the Modelling of Charpy Energy in Terms of Normalization Heat Treatment Parameters**. *Materials Science and Technology*, Vol. 18 (12), pp. 1529-1534 (2002).