

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

Bernardo Soares Engelke¹
Marcos Venicius Soares Pereira²

¹ Aluno de Graduação do curso de Engenharia do Petróleo / PUC-Rio

² Dr-Ing., Professor, Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia / PUC-Rio

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 em unidades de do tipo *offshore* é considerada como uma tecnologia chave do sucesso da exploração.

Quando da fabricação de componentes mecânicos e estruturais utilizando-se processos de soldagem, os ciclos térmicos durante tais processos, associados à composição química do material e geometria do componente, são os responsáveis pelas características metalúrgicas da junta soldada e, conseqüentemente, definem a resistência à fratura do próprio componente. Com o intuito de aumentar a integridade estrutural e confiabilidade da junta soldada, empregam-se tratamentos térmicos pós-soldagem. Desta maneira, a determinação e o controle adequados dos parâmetros na etapa de tratamento térmico são tão relevantes quanto os parâmetros adotados na soldagem das próprias juntas [1].

Objetivo

Determinar a influência de tratamentos térmicos pós-soldagem no desempenho mecânico do aço estrutural grau R4 adotado na fabricação de componentes para sistemas de ancoragem de unidades flutuantes do tipo *offshore*. Caracterizar as propriedades mecânicas e de fratura do material após tratamentos térmicos com diferentes parâmetros.

Procedimento Experimental

A Tabela 1 apresenta a composição química característica do material selecionado para esta pesquisa, um aço estrutural do tipo grau R4 adotado na fabricação de amarras para sistemas de ancoragem de unidades flutuantes *offshore* [1].

Tabela 1 - Composição Química do Material (%)

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

Elos tipo Kenter com diâmetro nominal de 76 mm foram fornecidos pela Companhia Brasileira de Amarras, BrasilAmarras, de Niterói-RJ. A fabricação dos elos pela BrasilAmarras envolveu processos de dobramento das barras (920 °C), usinagem e tratamentos térmicos de têmpera (920 °C / 60 minutos / resfriamento em água) e revenido (650 °C / 60 minutos / resfriamento em água). A Figura 1 apresenta a geometria típica de um elo tipo Kenter.

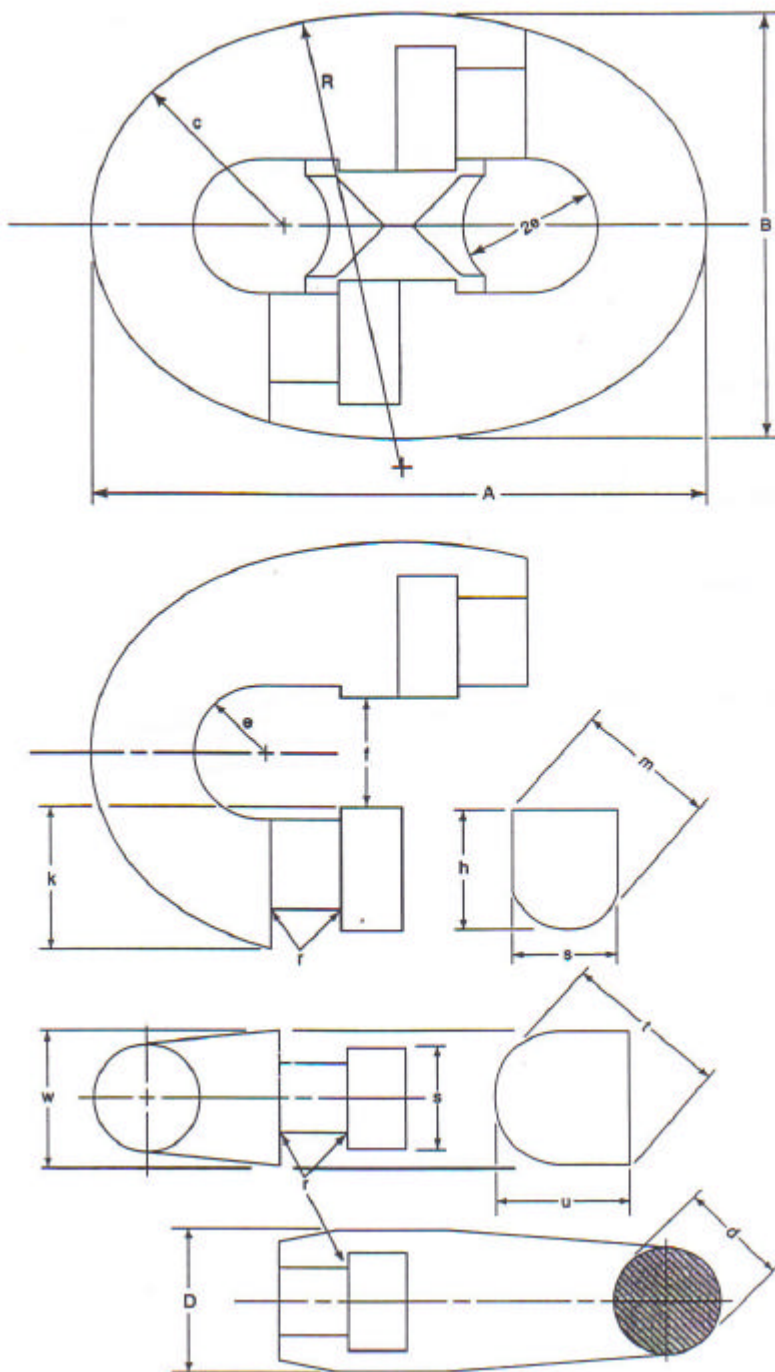


Figura 1 – Geometria típica de um elo do tipo Kenter. As dimensões do componente são função do seu diâmetro nominal.

Barretas cilíndricas com diâmetro de 16 mm e comprimento de 120 mm foram usinadas das seções retas dos elos Kenter na posição 2/3 do raio da barra e apresentado seu eixo longitudinal coincidente com a direção de laminação. A Figura 2 mostra esquematicamente a posição de retiradas das barretas.

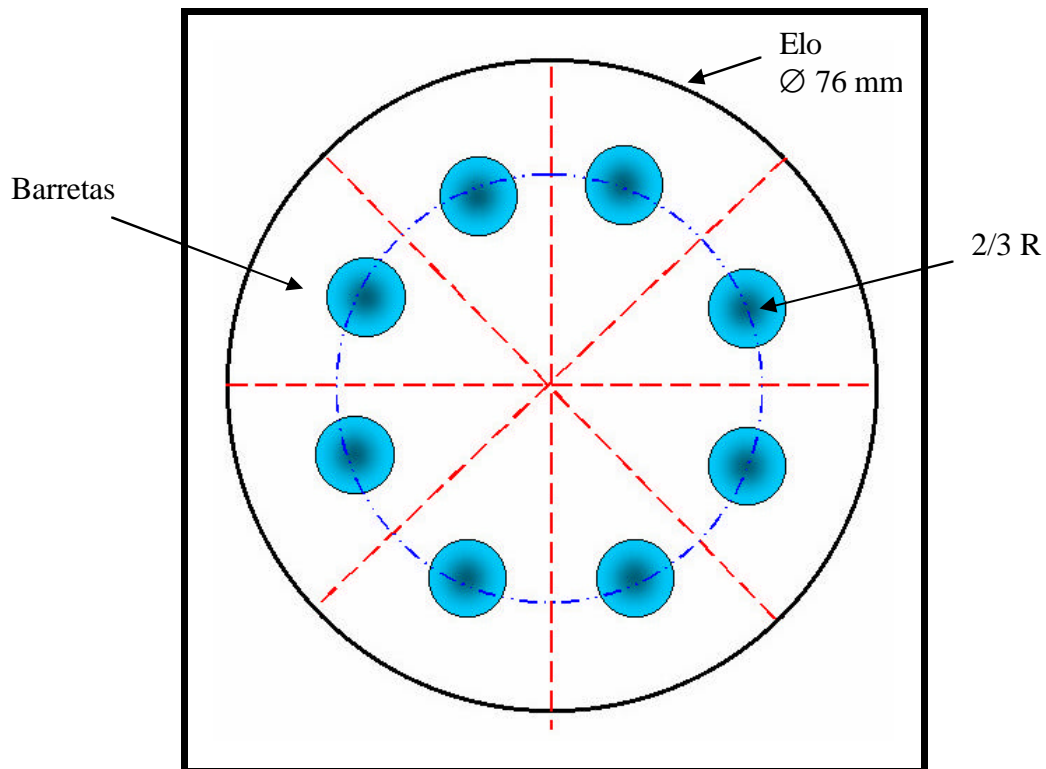


Figura 2 – Posição de retira das barretas em função do diâmetro do elo.

Após o corte, as barretas circulares foram austenitizadas na temperatura de 920°C durante 60 minutos e resfriadas em água [1], sendo, posteriormente, submetidas ao tratamento de revenido nas temperaturas de 650, 660, 670, 680, 690 e 700°C durante 60 minutos.

Em seqüência, corpos de prova cilíndricos para ensaios de tração foram usinados de acordo com a norma ASTM E 370 [2]. A Figura 3 apresenta as dimensões adotadas na fabricação dos corpos de prova.

Nos ensaios de tração foram utilizados cinco corpos de prova do aço estrutural R4 para cada temperatura de revenido. Os ensaios foram realizados nos laboratórios de Ensaios Mecânicos da PUC-Rio, segundo a norma ASTM E 370 [2] e utilizando-se uma máquina universal de ensaios marca *Instron*. A Tabela 2 apresenta as características dos ensaios de tração.

Tabela 2 – Parâmetros dos ensaios de tração

| | |
|----------------------|---------------|
| Célula de carga | 600 kN |
| Velocidade de ensaio | 2 mm / minuto |
| Temperatura | 22°C. |

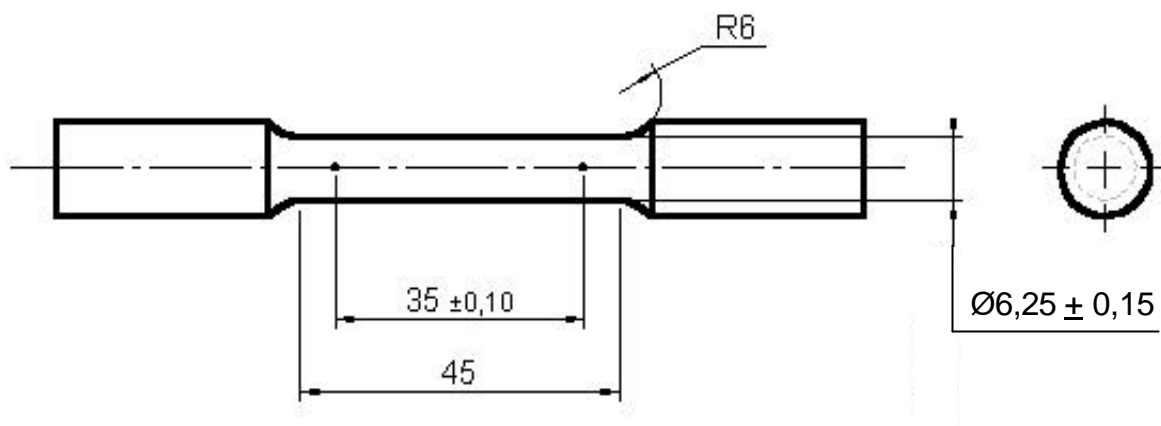


Figura 3 – Corpos de prova para ensaios de tração.

Resultados

A Tabela 3 apresenta o valor médio do limite de escoamento (LE), limite de resistência mecânica (LR), deformação na fratura (e) e redução de área (RA) do material após os diferentes tratamentos de revenido. Tais valores foram obtidos após o ensaio de cinco corpos de prova para cada condição de revenido e o respectivo desvio padrão é apresentado entre parênteses.

Tabela 3 – Propriedades Mecânicas do Aço R4 após Diferentes Revenidos

| Temperatura de Revenido (°C) | LE (MPa) | LR (MPa) | e (%) | RA (%) |
|------------------------------|----------|-----------|------------|------------|
| 650 | 934 (1) | 1058 (9) | 18,8 (0,1) | 72 (0,5) |
| 660 | 900 (25) | 1033 (4) | 19 (0,2) | 72 (0,4) |
| 670 | 893 (23) | 1031 (7) | 19,2 (0,3) | 72,3 (0,2) |
| 680 | 868 (9) | 981 (2,6) | 19,4 (0,2) | 73,1 (0,8) |
| 690 | 837 (3) | 920 (8) | 19,8 (0,1) | 73,1 (0,3) |
| 700 | 780 (22) | 899 (3) | 20,5 (0,4) | 73,2 (0,4) |

Discussão

A análise da Tabela 3 permite constatar que houve uma redução progressiva do limite de escoamento e do limite de resistência mecânica, aproximadamente 20% em ambos os casos, do aço estrutural R4 com o aumento da temperatura de revenido. Por outro lado, o aumento da temperatura de revenido promoveu um aumento da ductilidade do material, característica esta mais claramente evidenciada na deformação apresentada pelo material no momento fratura do corpo de provas.

Variações inversas da resistência e ductilidade do material com o aumento da resistência mecânica já deverias ser esperadas [3], estando de acordo com as características de modificações microestruturais que são desenvolvidas no revenido. Este tratamento tem como objetivo devolver ao material sua ductilidade após o tratamento de têmpera e, conseqüentemente, provoca uma redução na dureza do mesmo, que se reflete na diminuição de sua resistência.

Conclusões

A pesquisa permitiu determinar a influência da temperatura de revenido nas propriedades mecânicas de um aço estrutural com aplicações em sistemas de ancoragem de unidades offshore de produção de petróleo. As propriedades mecânicas do material foram modificadas pelo aumento progressivo da temperatura de revenido. Os limites de escoamento e de resistência mecânica do material sofreram uma diminuição de aproximadamente 20%, enquanto que a ductilidade do material foi aumentada.

Referências

- 1- PIMENTA, J. M. P. **Modificações na resistência à fratura do aço estrutural R4**. Rio de Janeiro. 112p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, PUC-Rio.
- 2- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **Tensile testing for metallic materials**. ASTM E370. Warrendale, 2004.
- 3- CALLISTER, W. D., **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 5. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2002. 218p.