

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

Devido à exigência mundial de minimização da relação entre o custo e benefício em praticamente todas as áreas empresariais, expressões como aumento de qualidade e confiabilidade dos produtos, otimização do desempenho e maximização da eficiência de produção são cotidianas nas atividades de Engenharia. Sendo assim, a minimização da mencionada relação é o objetivo principal das estratégias do desenvolvimento industrial.

A estratégia da fabricação de componentes e acessórios para sistemas de ancoragem de unidades *offshore* está na obtenção de produtos de alto desempenho em serviço com baixos custos de fabricação. Entretanto, é conhecido que quando de sua fabricação adotando-se processos de soldagem, os ciclos térmicos de tais operações, associados com a composição química do material e tratamentos térmicos pós-soldagem, determinam as características microestruturais da junta soldada que, por sua vez, definem a resistência à fratura da região e, na maioria das vezes, aquela do próprio componente. No caso da vida útil em serviço de elos de amarras com aplicações *offshore*, a mesma será estendida se fenômenos localizados que ocorrem no material durante a fabricação dos componentes puderem ser previstos em função de parâmetros associados com os processos de conformação mecânica, de soldagem e de tratamento térmico.

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.

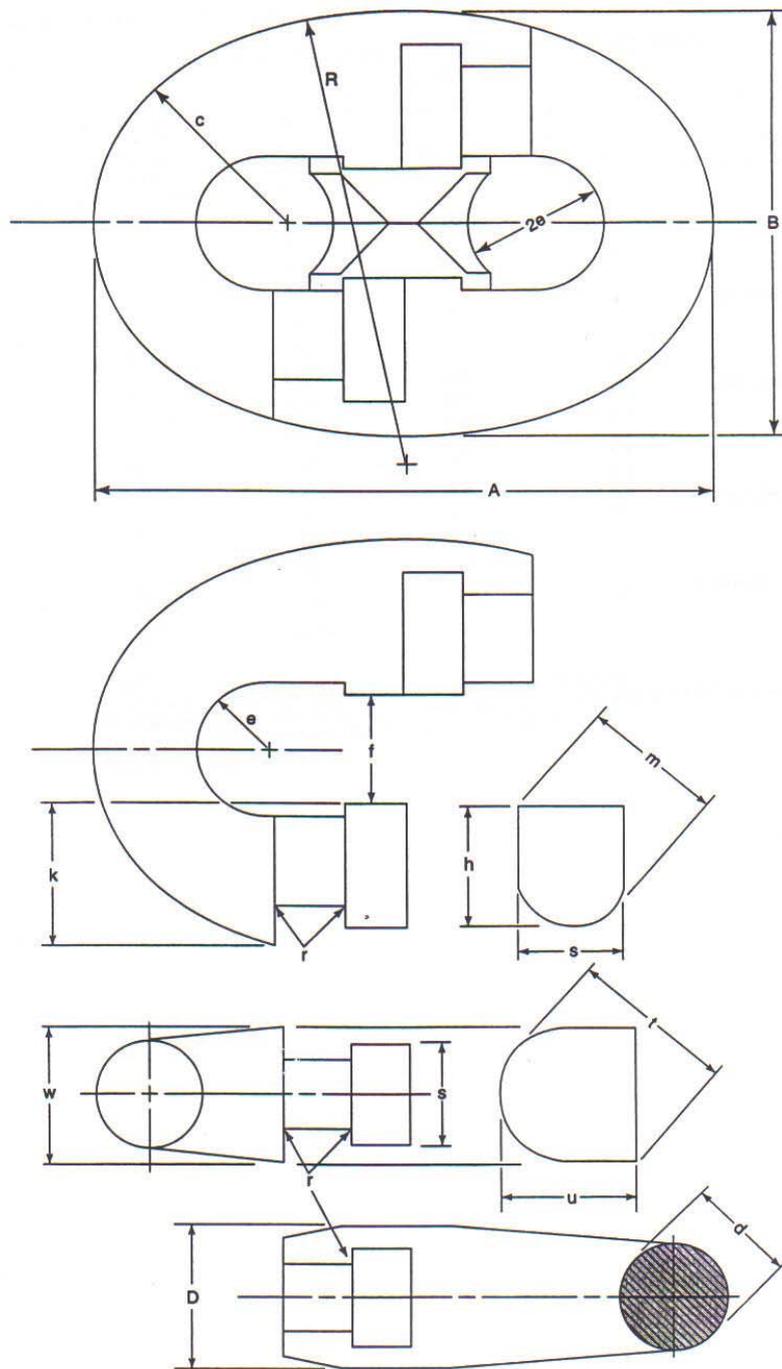


Figura 1 – Geometria típica de um elo do tipo Kenter [1].

Tabela 2 – Condições de Tratamentos Térmicos

Condição	Têmpera	Resfriamento	Revenido	Resfriamento
1 2 3	840°C, 60 minutos	óleo	660°C, 30 min 660°C, 120 min 660°C, 210 min	óleo
4 5 6	840°C, 60 minutos	ar	660°C, 30 min 660°C, 120 min 660°C, 210 min	ar

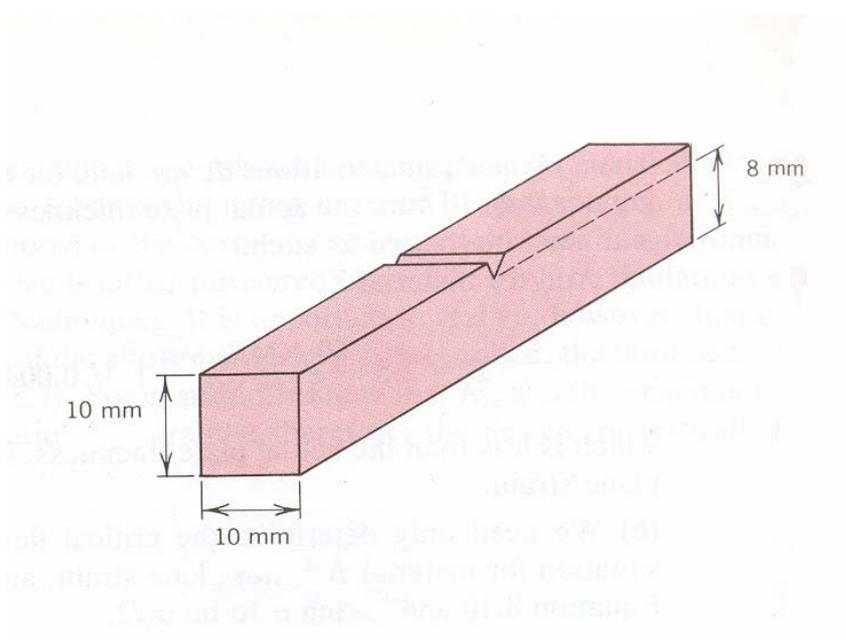


Figura 3 - Geometria do corpo de prova Charpy [3].

Nos ensaios de impacto foram utilizados seis corpos de prova do aço estrutural R4 para cada condição de tratamento. Os ensaios foram realizados segundo a norma ASTM E-23-04 [2], utilizando-se uma máquina marca AVK-Budapest, apresentada esquematicamente na Figura 4, e realizados na temperatura de -20°C. Já a Figura 5, apresenta, esquematicamente, a posição de impacto do pêndulo no corpo de prova durante o ensaio.

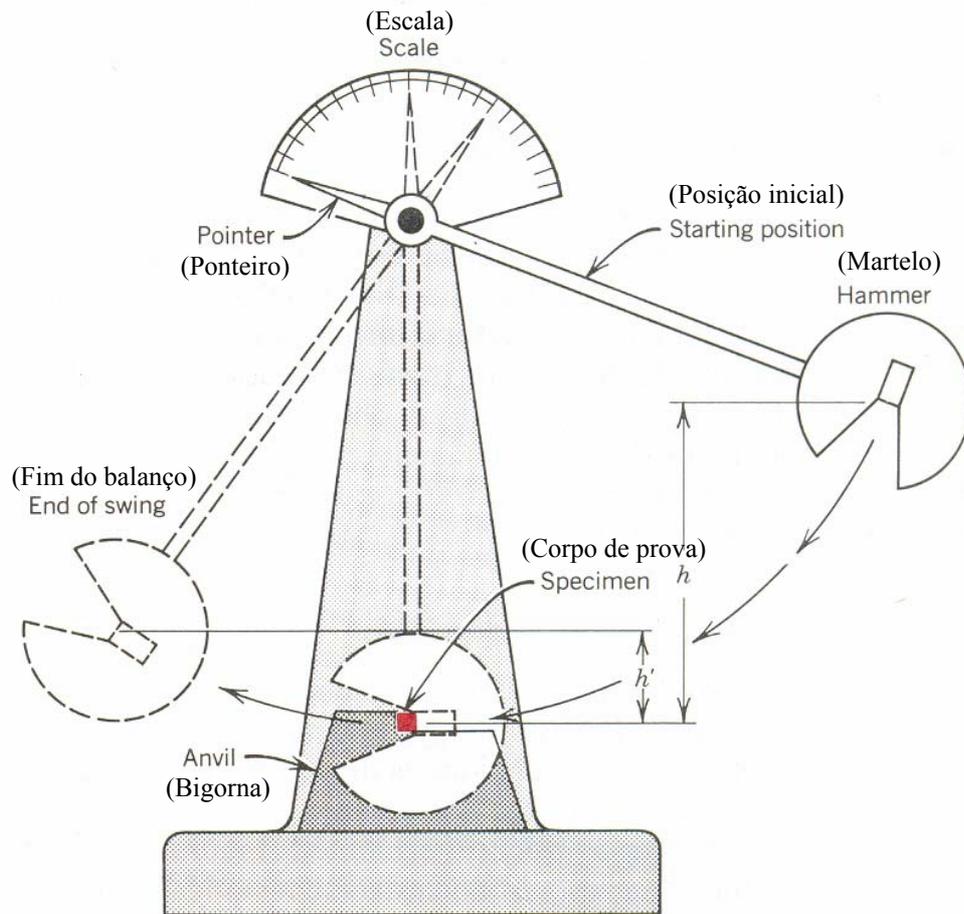


Figura 4 – Esquema da máquina de impacto [3]

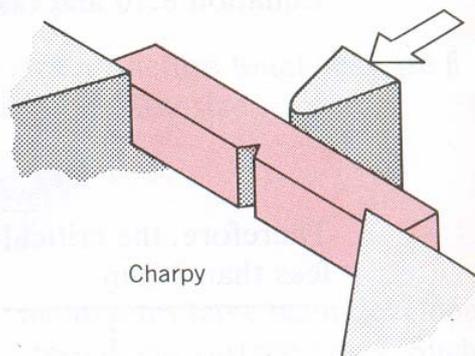


Figura 5 – Posição do impacto no corpo de prova Charpy [3]

Resultados

A Tabela 3 apresenta os valores da energia ao impacto (EI) do aço estrutural R4 por corpo de prova ensaiado em função os diferentes tratamentos térmicos (CT), tendo sido estes reportados na Tabela 2. Na mesma tabela também estão apresentados o valor médio de cada condição e o respectivo desvio padrão (entre parênteses).

Tabela 3 – Resistência ao Impacto do Aço R4 após Diferentes Revenidos

Corpo de Prova	EI / CT 1 (J)	EI / CT 2 (J)	EI / CT 3 (J)	EI / CT 4 (J)	EI / CT 5 (J)	EI / CT 6 (J)
1	137,3	129,5	140,3	20,6	26,5	17,7
2	130,8	137,4	147,2	15,7	13,7	18,6
3	136,4	141,3	152,1	23,5	17,7	18,7
4	153,1	149,1	165,8	1,9	23,5	20,6
5	134,4	153,1	166,8	21,6	15,7	18,6
6	140,3	147,2	157,9	6,9	13,7	19,6
média	138,7 (7,8)	142,9 (8,7)	155 (10,5)	15,1 (8,8)	18,5 (5,4)	18,9 (1,1)

Discussão

A análise da Tabela 3 permite constatar que houve uma redução da resistência ao impacto do aço estrutural R4 com a modificação do meio de resfriamento de óleo (condições 1, 2 e 3) para ar (condições 4, 5 e 6), tanto no tratamento de têmpera quanto no de revenido. Entretanto, em ambas as condições de resfriamento, maiores tempos de revenido (condições 3 e 6, para óleo e água, respectivamente) se relacionaram com os maiores valores médios de energia ao impacto do material.

Um aumento da ductilidade do material com o aumento do tempo de revenido pós-têmpera poderia ser esperado, estando de acordo com as características de modificações microestruturais que são desenvolvidas neste tipo de tratamento [3]. O revenido tem como objetivo proporcionar ao material melhoras em sua ductilidade após o tratamento de têmpera e, para que tal tratamento atinja sua máxima eficiência, tempos adequados são necessários. Entretanto, em função dos resultados obtidos, pode-se considerar que o menor tempo adotado nos tratamentos de revenido, 30 minutos, já foi suficientemente adequado para aumentar a ductilidade do aço estrutural R4 de maneira satisfatória. Tal afirmativa se baseia no fato de que uma variação de 600% no tempo de revenido, de 30 para 210 minutos, provocou um acréscimo de apenas 12% no valor médio da resistência ao impacto do material, o que não justificaria a adoção de prolongados tempos de tratamento.

Além disto, os resultados apresentados na tabela acima mostram claramente que a têmpera e revenido ao ar provocaram baixas ductilidades no material, em torno de 12% daquelas associadas com resfriamento ao óleo. Possivelmente, a razão da redução drástica da resistência ao impacto do aço estrutural R4 quando resfriado em diferentes meios se baseia no fato de que resfriamentos em óleo devem ter resultado em uma microestrutura mais homogênea (martensita) que, por sua vez, sofreu profunda modificação no revenido, tornando-se dúctil (martensita revenida). Por outro lado, resfriamentos ao ar, mais lentos do que aqueles em óleo, devem ter resultando no aparecimento de microestruturas mais heterogêneas (bainita e ferrita), de baixa ductilidade e pouco sensíveis a modificações durante o revenimento pós-têmpera [3].

Conclusões

A pesquisa permitiu determinar a influência do meio de resfriamento e do tempo de revenido na resistência ao impacto de um aço estrutural com aplicações em sistemas de ancoragem de unidades offshore de produção de petróleo.

O material quando resfriado em óleo apresentou ductilidade consideravelmente superior do que aquela associada com resfriamentos ao ar. Maiores tempos de revenido não provocaram uma considerável melhora na energia absorvida pelo material no ensaio de impacto.

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. **Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials**. ASTM E23. Warrendale, 2004.
- 3- CALLISTER, W. D., **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 5. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2002. 218p.