

ANÁLISE DAS TENSÕES RESIDUAIS NA SOLDAGEM ERW DE TUBOS DE AÇO N80 e P110 E CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS JUNTAS

Mateus Campos Martins, mateuscampos@id.uff.br

Gabriel Vianna de Macedo, gabrielvianna@id.uff.br

Raphael José Elino da Silveira, raphaeljose@id.uff.br

Maria Cindra Fonseca, mcindra@vm.uff.br

UFF – Universidade Federal Fluminense – Departamento de Engenharia Mecânica /PGMEC, Rua Passo da Pátria, 156, São Domingos, Niterói, RJ, Brasil

RESUMO: As tubulações de aços N80Q e P110 são largamente utilizadas para revestimento de poços de petróleo, onde devem apresentar bom desempenho em condições adversas de meio e carregamentos. Assim sendo, o estudo das tensões residuais e das propriedades mecânicas das tubulações soldadas usadas para estes revestimentos é de grande importância para a compreensão do comportamento destas tubulações em serviço. Neste trabalho, foram analisadas as tensões residuais provenientes da soldagem por resistência de alta frequência (ERW) nos tubos de revestimentos de poços de petróleo, além de caracterizar as propriedades mecânicas (dureza e tenacidade) e microestruturais de aços API 5CT N80Q e API 5CT P110. As tensões residuais analisadas foram trativas e de elevadas magnitudes na região da junta soldada do aço API 5CT N80Q, enquanto o aço API 5CT P110 apresentou valores compressivos de tensões residuais.

PALAVRAS-CHAVE: Tensões residuais, Aços N80Q e P110, Soldagem ERW

ABSTRACT: *The casing steel tubes N80Q and P110 are widely used for casing of oil wells, where they must have a good performance in adverse environment and loads conditions. In this way, the study of residual stresses and mechanical properties in welded pipes used for this application is very important to understand the behavior of these pipes in service. In this work was analyzed the residual stresses from high frequency resistance welding (ERW) on pipes, as well as characterize the mechanical (hardness and toughness) and microstructural properties in samples of API 5CT N80Q and API 5CT P110 steels. The residual stresses analyzed were tensile with high magnitudes in all regions of the welded joint of steel API 5CT N80Q, while the steel pipe API 5CT P110 showed compressive values of stresses.*

KEYWORDS: *Residual stress, API 5CT N80Q and API 5CT P110 steel, ERW welding.*

INTRODUÇÃO

Devido às condições de exploração e produção de petróleo e gás em locais de difícil acesso e menos convencionais, há uma crescente demanda por aços especiais e de alta resistência para atender a estas aplicações. Estas novas áreas de exploração e produção têm influência direta na necessidade de produtos com alto aporte tecnológico, como as tubulações fabricadas com aços de alta resistência (Silva, 2009). O custo destas tubulações pode alcançar até 50% do custo total da perfuração em terra e de 15 a 20% do custo de perfuração *offshore* (Thomas, 2004).

Pouco se sabe sobre o comportamento do campo de tensões residuais gerado por alguns processos de soldagem utilizados nesses tubos, como o caso da soldagem por resistência elétrica (*Electric Resistance Welding* - ERW).

Tensões residuais são tensões auto-equilibradas existentes nos materiais, em condições de temperatura homogênea e sem carregamento externo (Macherauch e Kloos, 1987). Elas surgem em praticamente todos os processos de fabricação mecânica e térmicos, sendo que na soldagem o surgimento das tensões é intrínseco ao processo, pois estão presentes elevados gradientes de temperatura,

distorções e transformação de fases (Cindra Fonseca, 2000).

O presente trabalho tem por objetivo estudar dois materiais usados para fabricação de tubos para revestimento de poços de petróleo, o aço API 5CT N80Q e o aço API 5CT P110, na forma de tubo soldado por resistência elétrica (ERW). O trabalho inclui a análise das tensões residuais e a caracterização das propriedades mecânicas e microestruturais do metal de base e das juntas soldadas, possibilitando o melhor entendimento do comportamento dessas tubulações.

METODOLOGIA

Neste trabalho foram estudadas amostras de dois tubos de aços microligados ao boro, usados para o revestimento de poços de petróleo, conforme especificado pela norma API 5CT, fabricados por laminação e soldados por resistência elétrica (ERW - *Electric Resistance Welding*)

- Tubo de aço API 5CT N80Q, com 140mm de diâmetro e 7,7mm de espessura.
- Tubo aço API 5CT P110 com 141mm de diâmetro e 8,15mm de espessura.

A composição química fornecida pelo fabricante (em % de massa) dos aços API 5CT N80Q e API 5CT P110 estão apresentadas nas Tabs. 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1. Composição química do aço N80 (% em peso)

| | | | | | | |
|-------|-------|--------|--------|--------|---------|-------|
| C | Si | Mn | P | S | Cr | Ni |
| 0,271 | 0,161 | 1,29 | 0,012 | 0,0046 | 0,049 | 0,024 |
| Al | Cu | Co | Ti | Nb | B | |
| 0,023 | 0,051 | 0,0048 | 0,0011 | 0,012 | <0,0005 | |

Tabela 2. Composição química do aço P110(% em peso)

| | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|
| C | Si | Mn | P | S | Cr | Ni |
| 0,253 | 0,223 | 1,39 | 0,018 | 0,005 | 0,02 | 0,014 |
| Al | Cu | Co | Ti | Nb | B | |
| 0,028 | 0,01 | 0,006 | 0,002 | 0,01 | <0,0005 | |

O valor das tensões limite de escoamento e tensão limite de resistência, estabelecidos pela API 5CT, em comparação com os valores informados pelo fabricante do material são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3. Propriedades Mecânicas do tubo

| | σ_{LE} (MPa) | | σ_{LR} (MPa) |
|-------------------------|---------------------|-----|---------------------|
| | Min | Max | Min |
| NORMA API 5CT N80Q | 552 | 758 | 689 |
| Tubo APOLO API 5CT N80Q | 690 | | 780 |
| NORMA API 5CT P110 | 758 | 956 | 862 |
| Tubo APOLO API 5CT P110 | 809 | | 900 |

A análise microestrutural foi realizada por microscopia óptica. As amostras foram preparadas através de lixamento sequencial com lixas 100, 220, 320, 400, 500, 600 e 1200, seguido de limpeza ultrassônica para retirar possíveis resíduos gerados durante o lixamento. As amostras foram polidas com pasta de alumina, seguida de nova limpeza ultrassônica. O ataque metalográfico foi realizado com reagente Nital 2% e as superfícies foram analisadas em microscópio óptico para identificação das fases presentes.

Os ensaios de microdureza Vickers foram realizados com carga de 0,98N e tempo de aplicação de 15s. Foram feitas medidas ao longo do cordão de solda, na zona fundida (MS), na zona termicamente afetada (ZTA) e no metal de base (MB).

Para os ensaio de tenacidade ao impacto Charpy foram confeccionados 3 corpos de prova (cp's) de cada aço nas medidas 55x10x6,7mm com um tolerância 0,025mm, conforme a norma ASTM A 370. O ensaio foi realizado à temperatura ambiente em um pêndulo com capacidade de 300J.

As tensões residuais foram medidas por difração de raios-X, pelo método do $\text{sen}^2\psi$, usando radiação $\text{CrK}\alpha$, difratando o plano (211) do material. Foi usado o analisador de tensões X-stress3000 (Fig. 1), fabricado

pela Stresstech e adquirido através da Rede de Materiais/TMEC/Petrobras.



Figura 1. Analisador de tensões por difração de raios-X, XStress3000

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises feitas por microscopia óptica estão apresentados nas Figs. 2 a 5. As Figuras 2 e 3 mostram a microestrutura do metal de solda e do metal de base do aço API 5CT N80Q, com predominância de martensita revenida ao longo de toda a junta, sendo que a microestrutura do metal de base é mais homogênea e uniforme. As Figuras 4 e 5 apresentam as microestruturas do metal de solda e do metal de base do aço API 5CT P110. Similarmente ao aço API 5CT N80Q

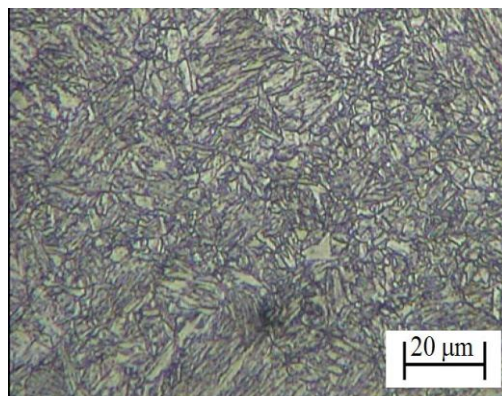


Figura 2. Metal de solda junta API 5CT N80Q

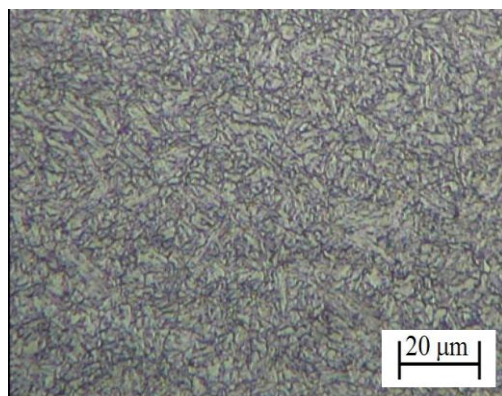


Figura 3. Metal de base aço API 5CT N80Q

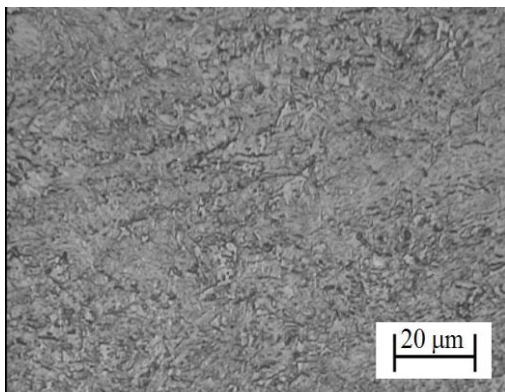


Figura 4. Metal de solda junta API 5CT P110

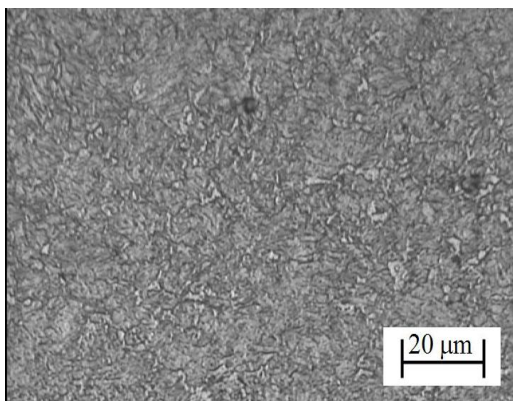


Figura 5. Metal de base aço API 5CT P110

Os resultados de microdureza Vickers obtidos ao longo da junta soldada dos aços API 5CT N80Q e API 5CT P110 estão mostrados nas Figs. 6 e 7, respectivamente.

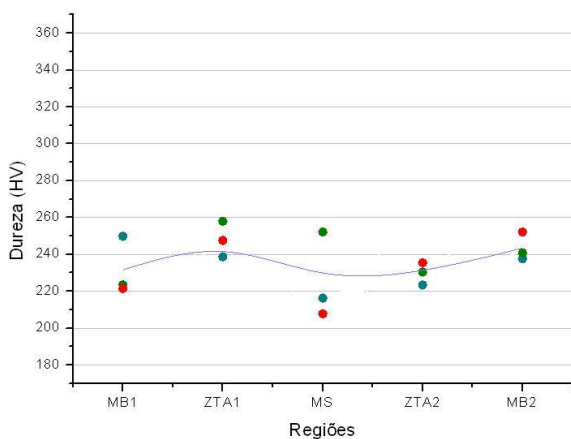


Figura 6. Microdureza Vickers no aço API 5CT N80Q

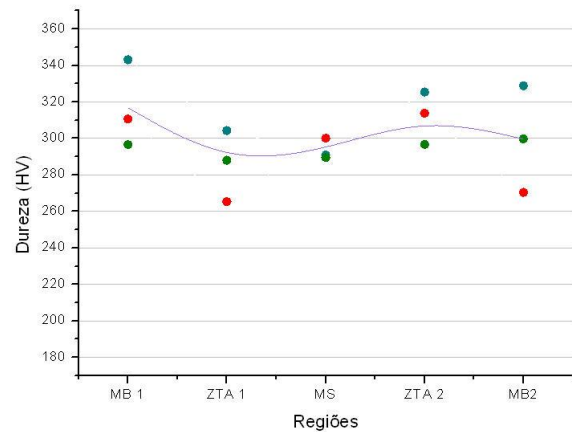


Figura 7. Microdureza Vickers aço API 5CT P110

Comparando os resultados obtidos é possível verificar que, em todos os pontos analisados, a junta soldada do aço API 5CT P110 apresentou valores de microdureza mais elevados do que a junta soldada de aço API 5CT N80Q, apesar do tubo de aço API 5CT N80Q ter sido também temperado e possuir microestrutura martensítica semelhante em morfologia à do aço API 5CT P110.

Na Tabela 4 estão expostos os valores da energia de impacto absorvida pelos cp's dos aços API 5CT P110 e API 5CT N80Q durante o ensaio de tenacidade ao impacto Charpy.

Tabela 4. Tenacidade ao impacto Charpy.

| | Energia absorvida (J) | |
|-------|-----------------------|----------|
| | Aço N80Q | Aço P110 |
| | 91 | 97 |
| | 92 | 101 |
| | 117 | 95 |
| Média | 100 | 98 |

Percebe-se que o comportamento da tenacidade ao impacto Charpy dos dois materiais é semelhante, pois ambos os aços apresentaram energia Charpy média de cerca de 100J.

As tensões residuais geradas na soldagem do tubo de aço API 5CT N80Q, pelo processo ERW, foram analisadas nas direções transversal (T) e longitudinal (L), nas regiões do MS, da ZTA e do MB. Os valores obtidos são apresentados na Tab. 5 e Fig. 8.

Tabela 5. Tensões residuais no centro da amostra tubular do aço API 5CT N80Q

| Regiões | Tensões Residuais (MPa) | |
|---------|-------------------------|-----|
| | L | T |
| MS | 295 | 240 |
| ZTA | 240 | 250 |
| MB | 200 | 180 |

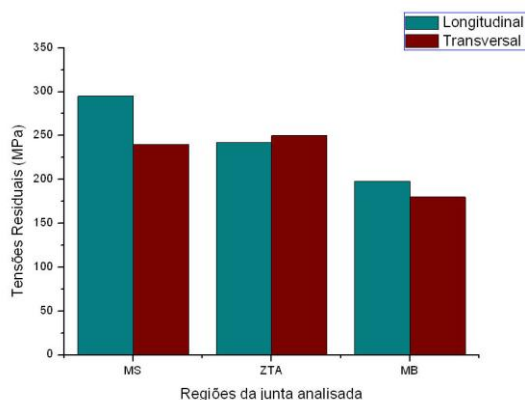


Figura 8. Tensões residuais no centro da amostra tubular do aço API 5CT N80Q

Analisando os resultados obtidos, é possível perceber que as tensões residuais geradas na soldagem do tubo de aço API 5CT N80Q foram tratativas em todos os pontos medidos. Os maiores valores foram observados na direção longitudinal do metal de solda (295MPa) o que constitui cerca de 42% do limite de escoamento do material.

As tensões mais elevadas na direção longitudinal no MB podem ser explicadas devido à coincidência com o sentido de laminação da chapa e no MS, devido às tensões de contração geradas no processo de aquecimento e plastificação da junta.

No tubo de aço API 5CT P110, as tensões residuais também foram analisadas no sentido longitudinal e transversal, nas regiões do MS, da ZTA e do MB. Os valores estão apresentados na Tab. 6 e Fig. 9

Tabela 6. Tensões residuais no centro da amostra tubular do aço API 5CT P110

| Regiões | Tensões Residuais (MPa) | |
|---------|-------------------------|------|
| | L | T |
| MS | -149 | -119 |
| ZTA | -93 | -154 |
| MB | -102 | -117 |

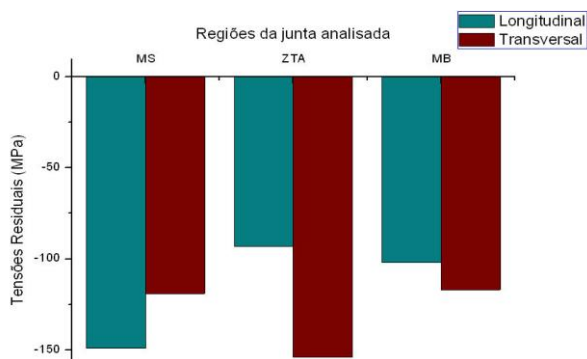


Figura 9. Tensões residuais no centro da amostra tubular do aço API 5CT P110

Observando os valores de tensões residuais encontrados é possível perceber que as tensões geradas na soldagem do tubo de aço P110 são compressivas em todas as regiões analisadas e em ambos os sentidos, longitudinal e transversal. Estes resultados podem estar relacionados com a maior microdureza apresentada por esta junta soldada, que apesar de ter microestrutura martensítica semelhante à do aço N80Q, pode ter sido tratada termicamente com regimes diferentes de têmpera e revenido.

CONCLUSÃO

O presente trabalho permite as seguintes conclusões:

- 1) Os dois materiais estudados apresentaram resultados semelhantes de tenacidade ao impacto Charpy e microestrutura predominantemente martensítica revenida, coerente com os tratamentos térmicos do material.
- 2) A junta soldada de aço API 5CT P110 apresentou valores de microdureza mais elevados do que a junta de aço API 5CT N80Q em todas as regiões analisadas.
- 3) A soldagem ERW do tubo de aço N80 gerou tensões residuais tratativas elevadas em todas as regiões estudadas, tanto no MB, como no MS (~300MPa) e ZTA, enquanto que a junta soldada de aço P110 apresentou tensões residuais compressivas em todas as regiões.
- 4) Os diferentes valores de tensão residual na soldagem dos tubos de aço P110 e N80Q devem estar relacionados com a maior microdureza apresentada na junta do P110, que apesar de ter microestrutura martensítica semelhante à do aço N80Q, pode ter sido tratada termicamente com regimes diferentes de têmpera e revenido, gerando, nesse caso, tensões compressivas no metal de solda.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, à CAPES e à FAPERJ pelo suporte financeiro, que permitiu a realização do presente trabalho.

REFERÊNCIAS

- Cindra Fonseca, M.P. Evolução do Estado de Tensões Residuais em Juntas Soldadas de Tubulação durante Ciclos de Fadiga. 2000. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e Materiais) - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2000.
- Macherauch, E.; KLOOS, K. H., Measurements and Evaluation of Residual Stress in Science and Technology, Ed. by Macherauch, E., Hauk, V., DGM VERLAG, 1987.

Silva, R.C., Caracterização de um aço microligado ao

boro e tratado termicamente utilizado na fabricação de tubos, Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, UNESP/FEG/SP, 2009.

Thomas, J. E., Fundamentos de Engenharia de Petróleo.
Editora Interciência, 2º Edição, 2004.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo presente trabalho.