

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO TÉRMICO PÓS SOLDAGEM EM ARAMES DE ARMADURA DE TRAÇÃO UTILIZADOS EM CABOS UMBILICAIS SUBMETIDOS À FRAGILIZAÇÃO POR HIDROGÊNIO

**Matheus M. S. Reis^{1*}, Emanuel C. S. Barbosa², Myllena V. Silva³, Breno L. Nascimento⁴
e Sandro Griza⁵**

1 - Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, SE.

Av. Dr. José Thomaz D'ávila Nabuco, 700, Cep 49030-270, SE.

mmariano641@gmail.com

2 - Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, SE.

3 - Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, SE.

4 - Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, SE.

5 - Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, SE.

RESUMO

Os cabos umbilicais marinhos são componentes operacionais do sistema de distribuição marinha utilizados em plataformas offshore. Os umbilicais são multicamadas, sendo assim compostos internamente por diferentes elementos que desempenham funções independentes, dentre eles estão a armadura de tração. Essas armaduras são compostas por diversos arames de aço carbono, que são responsáveis por promover resistência à esforços mecânicos como tração e torção. Durante a montagem da armadura, os arames são soldados por soldagem de topo por resistência gerando assim uma região vulnerável no componente. Este estudo tem o intuito de analisar a eficiência do tratamento térmico pós soldagem através do revenimento quando exposto ao ensaio de fragilização por hidrogênio. As propriedades mecânicas foram avaliadas, como também o mecanismo de falha e superfície de fratura, além da microestrutura da junta soldada. Os arames fragilizados apresentaram fratura frágil intergranular. O revenimento a 620°C apresentou melhorias no desempenho do arame durante o ensaio de fragilização por hidrogênio.

Palavras-chave: *Armadura de tração, arame soldado, fragilização por hidrogênio, revenimento.*

INTRODUÇÃO

O petróleo e gás em poços marítimos (offshore) vem sendo explorado desde meados da década de 1970. Inicialmente, o sistema de produção era realizado em águas rasas, ou seja, em profundidades inferiores a 305 metros. Entretanto, com o passar dos anos esse sistema de

produção submarina evoluiu para águas mais profundas. Este avanço resultou na descoberta do pré-sal há 15 anos, cerca de 6.000 mil metros abaixo do nível da superfície do mar. Dessa forma, se faz necessária a modernização tecnológica com relação às estruturas, equipamentos de instalação e operação para suprir as exigências impostas durante o progresso da exploração nas profundezas marinhas ⁽¹⁾.

Os umbilicais marinhos estão inseridos nessa relação de equipamentos operacionais e fazem parte do grupo de produtos do sistema de distribuição submarina. Eles são compostos por duas classes de elementos, os funcionais contendo mangueiras, tubos metálicos, cabos elétricos e óticos, e os estruturais com enchimentos poliméricos e arames de aço. Os componentes estruturais são encarregados de resistir aos esforços radiais, como é o caso dos enchimentos e matrizes poliméricas, e também a cargas axiais através das fibras de carbono e arames de aço ⁽²⁾.

O conjunto de arames de aço fazem parte da armadura de tração do umbilical. A armadura de tração tem como função proporcionar ao cabo resistência a esforços por tração axial e esforços por torção, sem que a flexibilidade do tubo seja comprometida. Os arames são fabricados em aço carbono, a partir do processo de trefilação utilizando a matriz de acordo com o diâmetro requerido ⁽³⁾.

O processo de montagem dos arames no cabo umbilical ocorre, por meio do rebobinamento desses arames tensionados que são distribuídos no interior do cabo. Como os umbilicais são de dimensões quilométricas, é necessário que durante a montagem esses arames sejam unidos pelo processo de soldagem ⁽⁴⁾. A soldagem é uma técnica que causa alterações na microestrutura e consequentemente nas propriedades do material de forma localizada ⁽⁵⁾. Aliado a isso, a solda pode ocasionar defeitos internos durante sua execução, como o aprisionamento de moléculas ou íons de hidrogênio que se alojam em defeitos nas redes cristalina e microestrutura (inclusões), acarretando posteriormente na fratura por fragilização por hidrogênio. Esse tipo de fragilização pode suceder também quando o material se encontra na presença do H₂S, ambiente ao qual os umbilicais são submetidos ⁽⁶⁾. A ductilidade e tenacidade da junta soldada são muitas vezes um fator de preocupação. Ao submeter os arames ao revenimento pós soldagem, ajustando temperatura e tempo de tratamento, é possível obter mudanças na microestrutura martensítica da solda proporcionando diminuição dos valores de dureza e, enfim, promovendo aumento da ductilidade.

O comportamento do arame soldado deve ser avaliado tanto com relação a propriedades mecânicas, assim como, na susceptibilidade à fragilização por hidrogênio com o intuito de aumentar a confiabilidade através do tratamento térmico de revenimento, propondo assim condições de temperatura e tempo que promovam melhor desempenho diante das circunstâncias impostas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os arames soldados foram submetidos à caracterização metalúrgica, dessa forma foi realizado a determinação da composição química, realizada em espectrômetro de emissão óptica (Oxford Foundry-Master Xpert), e análise microestrutural, através da microscopia ótica (Zeiss Axio Scope A1). O tratamento térmico de revenimento de 620°C foi feito durante o período de 20 segundos em forno mufla (Forno Mufla Digital Microprocessado SP-1200DM/G), após o tratamento os arames foram resfriados ao ar. Os arames foram submetidos ao ensaio de fragilização por hidrogênio até no máximo 150 horas de acordo com a norma NACE TM0177-2005. Os arames rompidos foram submetidos a inspeção através do microscópio eletrônico de varredura (MEV Vega LMS Tescan).

Ensaio de fragilização por hidrogênio

O corpo de prova foi submetido a carga de 90% da tensão de escoamento e a região central de solda sendo imersa na solução de 3,5% de NaCl, dentro de uma célula eletroquímica contendo eletrodo de referência prata/cloreto de prata (Ag/AgCl), contra eletrodo de platina e eletrodo de trabalho (arame). O potencial de proteção catódica (-1,06 VAg/AgCl) foi controlado por potenciostato (Metrohm Autolab). O sistema está apresentado na Figura 1.



Figura 1: Sistema de teste para ensaio de fragilização por hidrogênio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado da composição química do arame estudado está apresentado na Tabela 1. A partir dos valores, pode-se afirmar que se trata de um aço contendo 0,70% de carbono.

Tabela 1: Composição química do metal base do arame.

Elementos	C	Mn	P	S	Mo	Si
Concentração (%)	0,70	0,60	0,018	0,020	0,03	0,14

A microestrutura da solda foi realizada no corte sobre o plano longitudinal, como mostra a macrografia na Figura 2.

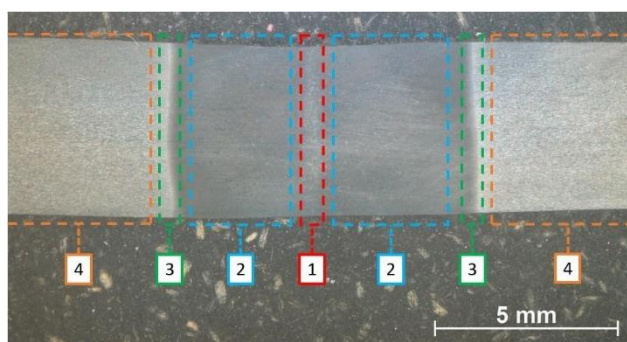


Figura 2: Macrografia da seção longitudinal da solda do arame dividida em zonas de análise: zona 1 (centro da solda), zona 2 (ZTA), zona 3 (transição microestrutural da ZTA) e zona 4 (metal base).

A zona 1 representa a região do centro de solda, local que gerou a coalescência da interface entre as extremidades dos arames ao final da soldagem, região de união da junta. Essa zona apresentou grãos primários grosseiros no seu interior, incluindo microestrutura com agulhas de martensita revenida (placas de agulhas escuras) e pequena quantidade de ferrita livre (áreas

claras), com óxidos nos contornos de grão (destacados com setas), como pode ser visto na Figura 3.

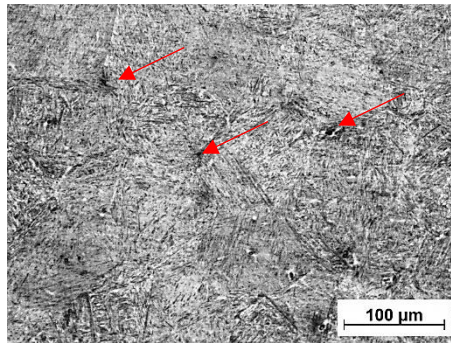


Figura 3: Zona 1, correspondente à faixa central de união da solda.

A zona 2 corresponde a área entre a faixa central e o início da zona 3, denominada zona termicamente afetada, na qual é possível observar martensita, porém com grãos menores no formato equiaxiais e ferrita livre (Figura 4).

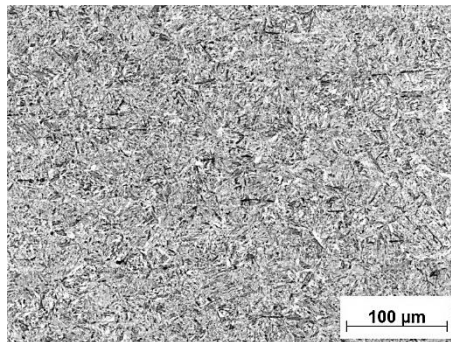


Figura 4: Zona 2, zona termicamente afetada (ZTA).

A zona 3, é constituída da região de transição da ZTA com o metal base, zona caracterizada por possuir microestrutura composta por martensita partindo da ZTA (imagem à direita) com redução da martensita e refinamento microestrutural seguido por formação preponderante de perlita fina e ferrita (Figura 5).

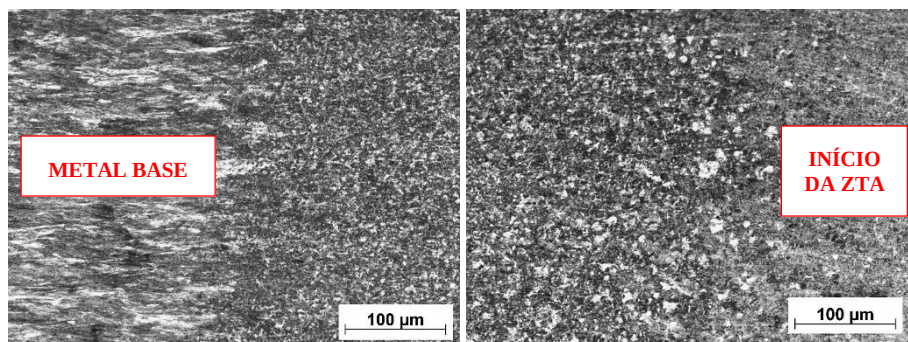


Figura 5: Zona 3, região de transição microestrutural entre metal base (esquerda) e ZTA (direita).

O metal base do arame, é composto por colônias de perlita e ferrita altamente deformadas, na direção da trefilação (Figura 6).

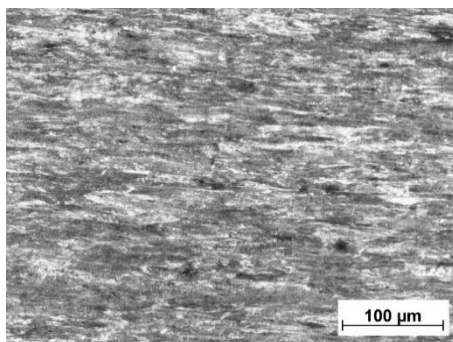


Figura 6: Zona 4, metal base do arame trefilado.

O teste de tração dos arames apresentou valores médios de tensão de escoamento de $1073 \pm 24,8$ Mpa e resistência à tração de $1203 \pm 69,2$ Mpa. Os resultados do ensaio de fragilização por hidrogênio estão inseridos nas Tabelas 2 e 3. Observa-se que os valores de pH inicial e final sofreram alteração, indicando que ao final a solução perdeu elétrons de hidrogênio, que por sua vez reagiram com a superfície do arame. Dessa forma, os íons de hidrogênio fragilizaram a região de solda dos arames de maneira que 80% dos corpos de prova sofreram fratura frágil na região da solda, e assim tiveram seu teste interrompido.

Tabela 2 : Resultados do teste de fragilização por hidrogênio com proteção catódica, dos arames fragilizados.

Corpo de prova	pH inicial	pH final	Resultados
CP 1	5.40	6.50	Fratura frágil
CP 2	5.40	7.50	Teste completo (150 h)
CP 3	5.54	7.65	Fratura frágil
CP 4	5.61	7.71	Fratura frágil
CP 5	5.54	7.32	Fratura frágil

A Figura 7, apresenta a superfície de fratura do arame (Figura 7a) após o ensaio e a característica do mecanismo de falha, sendo assim uma fratura intergranular (Figura 7b).

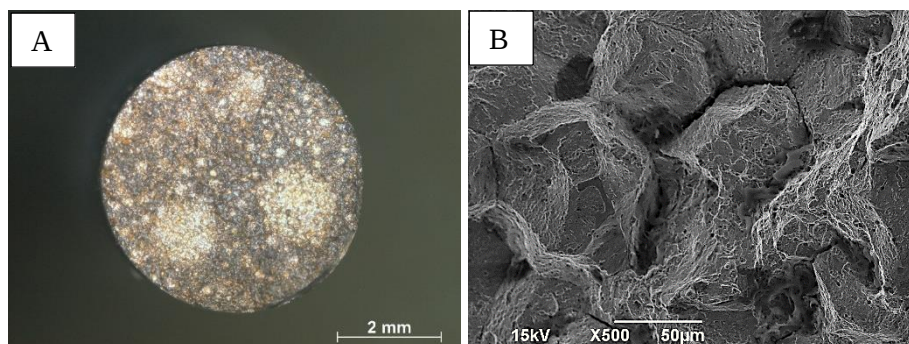


Figura 7: Superfície de fratura frágil (esquerda). Mecanismo de fratura intergranular (direita).

Após o revenido ao forno em 620°C , os arames resistiram ao teste de fragilização completando assim o período de 150 horas sem a ocorrência de falha, como apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Resultados do teste de fragilização por hidrogênio com proteção catódica, dos arames revenidos a 620°C.

Corpo de prova	pH inicial	pH final	Resultados
CP 1	5.49	7.12	Teste completo (150 h)
CP 2	5.77	7.12	Teste completo (150 h)
CP 3	5.39	7.53	Teste completo (150 h)
CP 4	5.35	8.45	Teste completo (150 h)
CP 5	5.37	7.80	Teste completo (150 h)

CONCLUSÕES

Diante dos resultados apresentados foi possível concluir que a microestrutura da junta de solda do arame apresentou a formação de martensita grosseira na região do centro da solda, contendo nos seus contornos de grão a presença de inclusões e segregações, que serviram como “armadilha” para o átomo de hidrogênio se alojar e provocar fratura frágil intergranular. O tratamento térmico de revenimento se mostrou efetivo para o ensaio de fragilização por hidrogênio, pois mesmo o arame fragilizado o revenido impôs um alívio de tensões que permitiu o arame suportar o período de 150 horas exposto à fragilização.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, CAPES e FAPITEC pelo apoio financeiro a pesquisa.

REFERÊNCIAS

1. BAI, Y., BAI, Q. **Subsea Structural Engineering Handbook**. In Ass (Ed.), Gulf Professional Publishing (1a Ed). 2010.
2. LU Q., CHEN J., YANG Z., CHAO Y, Y., YUE, Q. Numerical and Experimental Analysis of Umbilical Cables under Tension. **Advanced Composites Letters**. v.26, n. 2, pp. 56-62, March 2017.
3. CHIAVERINI, V. Aços Para Arames e Fios. **Aços e Ferros Fundidos**. 7 ed; cap 15, São Paulo, 1988.
4. DRUMOND, G., P., PASQUALINO, I., P., PINHEIRO, B., C., ESTEFEN, S., F. “Pipelines, risers and umbilicals failures: A literature review”. **Ocean Engineering**. v. 148, pp. 412-425, January 2018.
5. MARQUES. P.V.; MODENESI. P.J.; BRACARENSE. A. Q. - **Soldagem - Fundamentos e Tecnologia**. 3ª ed. 2011.
6. WANG, D., LU, X., WAN, D., GUO, X., JOHSEN, R. “Effect of hydrogen on the embrittlement susceptibility of Fe–22Mn–0.6C TWIP steel revealed by in-situ tensile tests”, **Materials Science and Engineering: A**, v. 802, 140638, 2021.

STUDY OF THE INFLUENCE OF POST-WELDING HEAT TREATMENT ON TENSION ARMOR WIRE USED IN UMBILICAL CABLES SUBMITTED TO HYDROGEN FRAGILIZATION

ABSTRACT

Marine umbilical cables are operational components of the marine distribution system used on offshore platforms. Umbilicals are multilayered, thus being internally composed of different elements that perform independent functions, among them are the tensile armature. These reinforcements are composed of several carbon steel wires, which are responsible for promoting resistance to mechanical stresses such as traction and torsion. During the reinforcement assembly, the wires are welded by resistance butt welding, thus generating a vulnerable region in the component. This study aims to analyze the efficiency of post welding heat treatment through tempering when exposed to the hydrogen embrittlement test. The mechanical properties were evaluated, as well as the failure mechanism and fracture surface, in addition to the microstructure of the welded joint. The weakened wires showed intergranular brittle fracture. Tempering at 620°C showed improvements in wire performance during the hydrogen embrittlement test.

Keywords: *Tensile armor, welded wire, hydrogen embrittlement, tempering.*

.