

AVALIAÇÃO DA VARIAÇÃO PARAMÉTRICA DA SOLDAGEM DO AÇO API 5L X70 SOBRE A MICROESTRUTURA E TENACIDADE DA SOLDA¹

Temistocles de Souza Luz²
Viviane Azambuja Favre Nicolin³
Josimar Antonio Cusini Grippa⁴

Resumo

A soldagem é um processo industrial muito usado na indústria de petróleo. Os seus parâmetros provocam alterações metalúrgicas significativas no metal de solda. Nesse trabalho foram feitas soldagens de um aço API X70 com uma variação na energia imposta na soldagem e da proteção gasosa. Os corpos-de-prova foram analisados por microscopia ótica e submetidos a ensaios de dureza e resistência ao impacto charpy para verificar a variação do percentual de ferrita acicular e das propriedades mecânicas dos corpos-de-prova, respectivamente. Os resultados mostram o aumento da resistência mecânica influenciada pela presença de ferrita acicular.

Palavras-chave: Soldagem; Aço API X70; Ferrita acicular; Resistência mecânica.

EVALUATION OF PARAMETRIC VARIATION WELDING STEEL API 5L X70 ON MICROSTRUCTURE AND TOUGHNESS OF WELD

Abstract

Welding is an industrial process widely used in the petroleum industry. Their parameters significant cause metallurgical changes in the weld metal. In this work were made welding a steel API X70 with a variation in the energy imposed in welding and shielding gas. The body-of-evidence were analyzed by optical microscopy and tested for impact resistance and hardness to check the variation in the percentage of acicular ferrite and mechanical properties of the body-of-evidence. The results show the increased mechanical strength influenced by the presence of acicular ferrite.

Key words: Welding; Steel API X70; Acicular ferrite; Mechanical strength.

¹ *Contribuição técnica ao 68^o Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

² *Eng. Metalúrgica. Doutora em Eng. Metalúrgica, Professora EBTT, IFES, Campus Vitória, ES, Brasil.*

³ *Eng. Mecânico. Doutor em Eng. Mecânica, Professor Assistente, UFES, Campus Goiabeiras, Vitória, ES, Brasil.*

⁴ *Eng. Mecânico, Aluno de Mestrado, IFES, Campus Vitória, ES, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

O aumento na prospecção de petróleo, nos últimos anos, foi de grande crescimento nas áreas de tubulações metálicas, pois foi necessária a implementação de oleodutos, gasodutos e aquedutos.⁽¹⁾ Dutos para aplicação offshore, soldados tanto em terra como em alto mar, são inevitavelmente submetidos a carregamentos dinâmicos que resultam em expansão e contração.⁽²⁾ A soldagem provoca variações metalúrgicas no metal de base (zona termicamente afetada – ZTA) e na zona fundida (metal de solda), interferindo diretamente no produto final, a solda. Essas variações podem, algumas vezes, trazer resultados negativos à solda.⁽³⁾ Segundo Modenesi,⁽³⁾ a soldagem pode ser considerada como um processo de escala quase microscópica, pois existe um pequeno volume de reagentes e um pequeno tempo de interação entre eles, quando comparada com a maioria dos outros processos que envolvem a fusão de metais. A energia imposta na soldagem, também conhecida como aporte térmico é encontrada através da fórmula abaixo:⁽⁴⁾

$$E = \frac{V \cdot I}{v}$$

Onde:

- E= Aporte Térmico (kJ/mm);
- V = Tensão em Volts (V);
- I = Corrente Elétrica em Ampéres (A); e
- v = Velocidade Linear de Soldagem (mm/s).

Conforme pode ser visto na fórmula de aporte térmico acima, a energia de soldagem não depende do processo de soldagem e seus equipamentos. Qualquer fonte de calor concentrada por um determinado tempo em uma determinada área pode gerar altas energias de soldagens. Vale a pena frisar que a velocidade de soldagem, que é a variável utilizada nesse trabalho para diferenciar os níveis de energia, é raramente controlada durante a soldagem, principalmente nos processos de soldagem manual.⁽⁴⁾

Menezes et al.⁽⁵⁾ observaram que a variação da energia na soldagem do aço inoxidável duplex UNS S 31803 resultou na variação de fração volumétrica de ferrita e no tamanho da ZTA. Onde maiores energias imposta na soldagem, que proporcionam maiores taxas de resfriamento, provocam uma menor quantidade de ferrita no metal de solda.

Essa taxa de resfriamento é considerada benéfica para a formação de ferrita acicular (FA), pois Badeshia⁽⁶⁾ afirma que sua formação é favorecida pelas altas taxas de resfriamento, onde nas temperaturas mais baixas é demasiado lento para a formação de ferrita de Widmanstätten no interior do grão. A ferrita acicular é uma microestrutura desejável em metal de solda por proporcionar uma boa resistência mecânica à união soldada.⁽⁶⁾ Sua formação acontece no interior do grão austenítico e a partir de inclusões do metal de solda.⁽⁶⁾ No metal de solda a influência dos óxidos afeta significativamente a formação de ferrita acicular.⁽⁷⁾ Por isso a importância de uma proteção gasosa com uma quantidade ideal de CO₂, sendo que a dissociação desse gás na presença de alguns elementos de liga contribui para o surgimento desses óxidos. O manganês, por exemplo, contribui para um refinamento da microestrutura. Um aumento do teor desse elemento em cerca de 1,5% leva à formação de ferrita acicular em lugar de ferrita primária de contorno de grão e de placas laterais de ferrita.⁽⁷⁾

Sendo assim, esse trabalho tem como objetivo verificar o resultado da variação de energia imposta (aporte térmico), bem como a variação da proteção gasosa na

soldagem, através da avaliação da resistência mecânica do metal de solda pelos ensaios de dureza e tenacidade ao impacto.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A seleção de um consumível é realizada com base nas propriedades requeridas para a junta soldada, basicamente tensão limite de resistência.⁽⁴⁾ Por isso, para esse trabalho, o metal de solda indicado é um que possua um limite de resistência de 80 Ksi e um limite de escoamento de 70 Ksi. Esse consumível é o E81T1-Ni1C. E a proteção gasosa se dará com a mistura de dois gases em proporções diferentes, o Ar + CO₂ (75%Ar+25%CO₂, 85%Ar+15%CO₂ e 92%Ar+08%CO₂).

A soldagem foi feita pelo processo arame tubular *metal cored*. Todo o processo de soldagem e usinagem foram feitos no laboratório de soldagem na Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e no laboratório de Usinagem do IFES. Foram utilizados fontes de soldagem multiprocesso com controle de transferência, tocha arrefecida a água, para o movimento de translação da solda foi utilizado um sistema de posicionamento com um sistema de tecomento (x,y) para simular uma soldagem real. Os corpos-de-prova do aço API 5L X70 foram preparados pelo processo de oxicorte e usinados posteriormente, para a retirada da região afetada pelo calor. Foram condicionadas placas com dimensões aproximadas de 170 mm x 100 mm, para uma usinagem posterior com o intuito de padronização dos corpos de prova em 170 mm x 80 mm x 15 mm.

Depois das vários testes de soldagens chegou-se aos parâmetros na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros encontrados para a soldagem dos CP's desse trabalho

Corpos de Prova de Aço API 5L X70	Tipo de Gás	Velocidade de Soldagem nos passes de enchimento (cm/min)	Energia de Soldagem (KJ/mm)
CP 01	75%Ar + 25% CO ₂	15	2,1
CP 02		20	1,6
CP 03		25	1,3
CP 04	85%Ar + 15% CO ₂	15	2,1
CP 05		20	1,6
CP 06		25	1,3
CP 07	92%Ar + 08% CO ₂	15	2,1
CP 08		20	1,6
CP 09		25	1,3

Para avaliar a variação de energia imposta na soldagem juntamente com a variação da proteção gasosa, foram soldados 9 CP's do aço API 5L X70. Em todas as soldagens usou-se uma lixadeira manual com escova de aço para a limpeza entre os passes.

2.1 Análise Microestrutural

As amostras para o ensaio metalográfico foram preparadas com o polimento usando alumina de 1 µm e a limpeza feita com álcool. Para a revelação das micrografias as amostras foram atacadas com uma solução de nital 2% entre 20 e 30 segundos. As fotomicrografias foram feitas usando um microscópio óptico Olympus BX60M do laboratório de materiais da UFES para fazer um levantamento da fração volumétrica do microconstituente FA do metal de solda, priorizando a região do último passe de

enchimento que é o único passe que não sofreu reaquecimento como os passes anteriores. A contagem da porcentagem de FA no metal de solda foi feita usando uma grade com 400 pontos, que foi colocada sobre a imagem.

2.2 Ensaio de Dureza e Impacto Charpy

Os CP's para ensaios mecânicos foram retirados transversalmente das peças soldadas e preparados segundo as normas ASTM E23-01⁽⁸⁾ (ensaio charpy) e ASTM E10-93 01⁽⁹⁾ (medição de dureza Brinell). Os ensaios de impacto charpy foram feitos no laboratório de ensaios mecânicos da Arcelor Mittal Tubarão e os ensaios de dureza Brinell foram feitos no laboratório de ensaios do IFes. A primeira medição de dureza, sobre o último passe de solda, foi realizada a cerca de 1,5 mm abaixo da superfície do reforço.

3 RESULTADOS

Os valores da Tabela 2 e os gráficos mostram os resultados encontrados em função da variação dos parâmetros propostos nesse trabalho. Onde pode ser visto a influência desses na quantidade de ferrita acicular e nas propriedades mecânicas encontradas.

Tabela 2. Resultados encontrados para cada condição de soldagem

Proteção Gasosa	Energia de Imposta na Soldagem (KJ/mm)	Ferrita Acicular (%)	Dureza (HB)	Energia Absorvida no Impacto (J)
75%Ar + 25% CO ₂	2,1	80 % ± 0,5	210 ± 4	64 ± 4
	1,6	87 % ± 0,6	218 ± 3	76 ± 6
	1,3	86 % ± 0,9	235 ± 2	63 ± 2
85%Ar + 15% CO ₂	2,1	75 % ± 0,7	223 ± 4	53 ± 4
	1,6	75 % ± 0,3	220 ± 7	45 ± 4
	1,3	87 % ± 0,9	263 ± 4	35 ± 5
92%Ar + 08% CO ₂	2,1	69 % ± 0,5	238 ± 7	42 ± 1
	1,6	79 % ± 0,1	228 ± 1	40 ± 1
	1,3	88 % ± 0,4	242 ± 19	43 7

3.1 Porcentagem de FA em Função das Variáveis de Soldagem

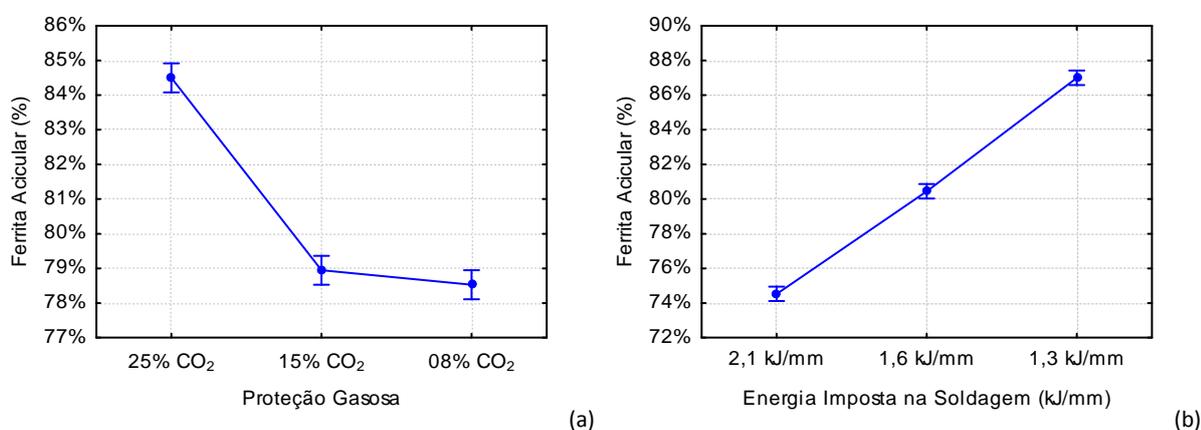


Figura 1. Ferrita acicular em função da Proteção Gasosa (a) e da Energia Imposta na Soldagem (b).

3.2 Resultados da Dureza e Tenacidade ao Impacto

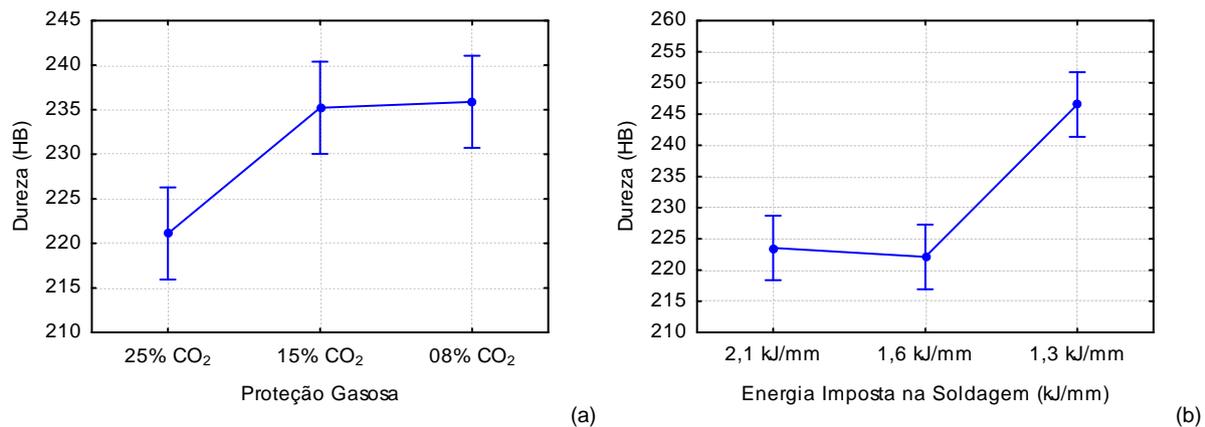


Figura 2. Variação da dureza em função da Proteção Gasosa (a) e da Energia Imposta na Soldagem (b).

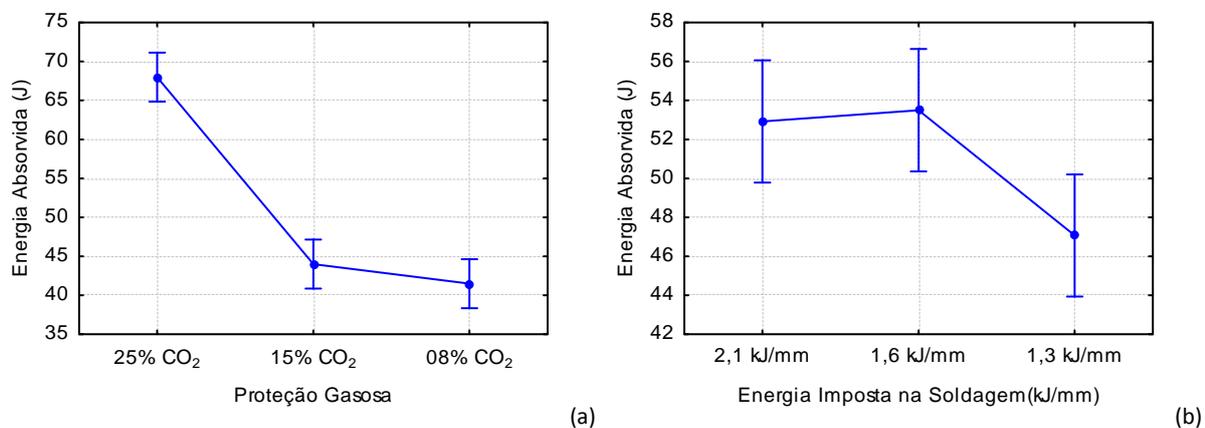


Figura 3. Variação da Energia Absorvida no Impacto em função da Proteção Gasosa (a) e da Energia Imposta na Soldagem (b).

4 DISCUSSÃO

Os resultados mostram que se podem conseguir propriedades mecânicas diferentes utilizando o mesmo material de base e de adição, bastando apenas variar os parâmetros propostos nesse trabalho.

4.1 Ferrita Acicular

Os resultados mostram o que Sindo Kou⁽¹⁰⁾ e Badeshia⁽⁶⁾ afirmaram com relação a influência do oxigênio, existente na proteção gasosa, na formação da FA e o papel da taxa de resfriamento na formação desse microconstituente, respectivamente. Para todas as três variações de proteção gasosa, as soldagens realizadas com a energia de 2,1kJ/mm tiveram a quantidade de CO₂ como fator determinante para uma maior proporção de FA. Onde a proteção gasosa com maior teor de CO₂ resultou numa maior porcentagem de ferrita acicular (Figura 1a). Isso pode ser devido ao fato de que o arame utilizado possui elementos de liga que quando em contato com o O₂ formam óxidos que são pontos de início para a formação dessa microestrutura.^(7,8) Já para os menores níveis de energia, é possível verificar o aparecimento de um maior volume de ferrita acicular para os três tipos de proteção gasosa utilizados.

Mostrando assim, para esse caso, que a quantidade de FA já não é mais dependente do teor de CO₂, e sim do aporte térmico responsável pelas maiores taxas de resfriamento (Figura 1b).⁽⁶⁾

4.2 Dureza e Energia Absorvida no Impacto

A variação de dureza entre os maiores níveis de energia imposta não foram muito significativos. Mas o menor nível de energia resultou num maior valor de dureza. Isso pode ser devido as mais altas taxas de resfriamento que provocam uma rápida transformação de fase, formando assim microconstituintes com maior dureza e maior fragilidade.⁽⁸⁾

Para a proteção gasosa com um maior teor de CO₂ os valores de dureza foram menores (Tabela 2). Isso pode ser devido à maior quantidade de ferrita acicular, que é própria dessa mistura (Figura 2a). Pois o arame utilizado possui elementos de liga como o Ni, Mn, Cr e Mo que quando em contato com o O₂ formam óxidos que são pontos de início para a formação dessa microestrutura.⁽⁷⁾ E também a presença de O₂ contribui para um menor grão austenítico,⁽⁸⁾ que resulta numa estrutura mais tenaz (Figura 2a).

Maiores valores de energia imposta resultaram em maiores valores de tenacidade (Figura 2b). Isso é resultado de uma menor dureza para essas energias de soldagem, pois menores taxas de resfriamento resultam na transformação de fase com velocidade moderada e conseqüentemente surgem microconstituintes menos frágeis.⁽⁸⁾

A mistura utilizada na proteção gasosa da soldagem com o maior teor de CO₂ apresentou os melhores resultados de energia absorvida no impacto (Figura 3a). Esse resultado pode ser consequência da maior porcentagem de ferrita acicular encontrada nas proteções gasosas com maiores teores de CO₂, que por sua vez, pode estar ligado aos óxidos formados entre os elementos de liga do arame de solda em contato com O₂ dessas misturas.⁽⁷⁾

Maiores valores de energia resultaram em maiores valores de tenacidade (Figura 3b). Isso é resultado de uma menor dureza para essas energias de soldagem (Figura 2b).⁽⁸⁾

5 CONCLUSÃO

Nesse trabalho observou-se que o microconstituente FA (ferrita acicular) pode influenciar no metal de solda contribuindo para melhores propriedades mecânicas. As maiores velocidades de soldagem, que são responsáveis pelas menores energias impostas na soldagem, podem contribuir para a formação de FA. A proteção gasosa com maior percentual de CO₂, em conjunto com alguns elementos de liga contidos no arame tubular, pode ajudar na formação de FA.

Agradecimento

Os autores agradecem aos técnicos dos laboratórios da UFES e do IFES pela preparação e caracterização das amostras durante o desenvolvimento desse trabalho. E aos técnicos do laboratório de ensaios mecânicos da Arcelor Mittal CST pelos ensaios de impacto charpy.

REFERÊNCIAS

- 1 Petróleo Brasileiro S.A. GNL, A hora é Essa. PETROBRÁS MAGAZINE. Rio de Janeiro: v.7, n.32, 2001.
- 2 PORTER, L.F. High-Strength low-alloy steels. Encyclopedia of Materials Science and Engineering, p.2157-2162.
- 3 Modenesi, P. J., Introdução à Metalurgia da Soldagem, UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Belo Horizonte, 2006.
- 4 ASM Handbook Volume 6 “Welding, Brazing and Soldering” Capítulo Energy Sources Used for Fusion Welding.
- 5 Menezes, J.W.A., Reis, F.E.U., Abreu, H.F.G., Miranda, H.C., Ribeiro, J.E.M., Oliveira, H.R, Efeito da Energia de Soldagem sobre a Fração Volumétrica da Fase Ferrítica no Aço Inoxidável Duplex UNS S 31803, Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, 2005.
- 6 Bhadeshia, H. K. D H., Bainite in steels, Transformation, Microstructure and Properties, second edition, University of Cambridge, Cambridge USA .2001
- 7 Modenesi, P. J., Soldabilidade dos Aços Transformáveis, UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Belo Horizonte, abril de 2012.
- 8 American Society for Testing and Materials – ASTM. Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials. ASTM E23-01. West Conshohocken, PA, USA. 2001.
- 9 American Society for Testing and Materials – ASTM. Standard Test Methods for Brinell Hardness of Metallic Materials. ASTM E10-93 01. West Conshohocken, PA, USA. 1993.
- 10 Kou, Sindo. Welding Metallurgy, 2^a edição, Department of Materials Science and Engineering University of Wisconsin, USA, 2002.