



ANÁLISE DA DUREZA EM JUNTAS SOLDADAS DE UM AÇO ASTM A 516 GR 60 SUJEITO À CORROSÃO SOB TENSÃO COM H₂S

Autor: CPB 0005

Francisco Ilo Bezerra Cardoso

Escola Politécnica de Pernambuco – UPE, Rua Benfica, 445, Madalena, Recife, CEP: 50750-410,

E-mail: ilo@elogica.com.br

Ricardo Artur Sanguinetti Ferreira, Paulo Marcelo Pedroza de Almeida e Rodrigo de Souza Mendonça.

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Avenida Ac. Hélio Ramos, s/n, CDU, Recife, CEP: 50740-540, e-mail: ras@npd.ufpe.br

Resumo: Mundialmente têm-se realizado vários estudos no sentido de estabelecer os mecanismos pelo quais os aços se fragilizam, promovendo trincas na junta soldada. Um defeito típico relativo à soldabilidade dos aços de alta resistência são as indesejáveis trincas induzidas pelo hidrogênio. Vários fatores podem influenciar a nucleação e a propagação dessas trincas, tanto na Zona Afetada pelo Calor (ZAC), quanto no Metal de Solda (MS). O presente trabalho tem como objetivo principal analisar o perfil de microdureza na região da (ZAC), em uma junta multipasses obtida por meio do processo de soldagem ao arco submerso (SAS) e fazer a sua caracterização microestrutural. O aço estrutural selecionado para este estudo foi o ASTM A 516 GR 60, bastante especificado para a soldagem de vasos de pressão sujeito à corrosão sob tensão com H₂S. As trincas à frio apresenta-se como um dos principais problemas de soldabilidade deste aço. Para minimizar a ocorrência deste tipo de trinca é necessário evitar valores altos de dureza na ZAC. Para acompanhar as propriedades da ZAC, realizou-se o perfil de dureza, macrografias e análise metalográfica do material soldado. Este perfil foi comparado aos valores de dureza máxima na ZAC obtidos através das fórmulas de Yurioka, Terasaki ou Suzuki, por meio do Software Analisador de Soldabilidade (SOLDASOFT). Os resultados obtidos mostraram valores de microdureza na região da ZAC bastante coerentes com os da microestrutura observada e compatível com os modelos propostos, além de atender os requisitos das normas de projeto do equipamento.

Palavras-chave: dureza, microestrutura, soldagem.

1. INTRODUÇÃO

Vários processos de soldagem são utilizados para a fabricação de equipamentos de processos e estruturais. (Wainer et al, 1992). No processo de soldagem com união por fusão, utilizando-se o arco elétrico para a geração de calor para fusão das partes, o material adjacente à zona de soldagem é exposto à ciclos térmicos e transformação metalúrgicas complexas, bem como à indução de deformações e tensões residuais. Segundo Alcantara (1986), um dos problemas encontrado com mais freqüência na soldagem de aços estruturais é a Trinca a Frio (TF), e estima-se que são gastos anualmente alguns bilhões de dolares pelas indústrias mundiais para resolver problemas de soldagem de manufaturados, e pelo menos 20% são devidos a TF causada pelo hidrogênio.

Muitos estudos têm sido elaborados sobre o tema, (Billa, 1991; Liu e Bracarense, 1994; Modenesi e Araújo, 1991; Suzuki, 1983; Suzuki e Yurioka, 1987) e, em particular, alguns formulados modelos matemáticos para prever a susceptibilidade do aço às trincas ou para prever a dureza máxima na Zona Afetada pelo Calor (ZAC), conforme sugeridos por (Bohorques e Buschinelli, 1989; Suzuki, 1985; Suzuki e Yurioka, 1987; Bursteinas e Sivieri 1983). A dureza é outro importante fator usado como indicador dessa susceptibilidade em várias normas de soldagem, por exemplo Normas Técnicas da Petrobras; sendo o ensaio de dureza amplamente utilizado na Indústria de Componentes Mecânicos (Lopes e Miranda, 1993), devido à vantagem de fornecer dados quantitativos das características de resistência à deformação permanente das peças produzidas. Portanto, dependendo da temperabilidade do Metal de Solda as trincas a frio podem ser evitadas, reduzindo-se ou evitando-se altos percentuais de Martensita (M), com conseqüentes reduções nos valores de dureza, segundo Maciel (1994). Barros (1999) que as condições de trinca a frio estão essencialmente ligadas à quantidade de martensita formada na ZAC, durante a soldagem. Para traduzir esta preocupação no plano prático é necessário conhecer de modo quantitativo, a relação entre a quantidade e a natureza dos constituintes formados na ZAC, os parâmetros térmicos da soldagem e a dureza.

O objetivo deste trabalho é correlacionar a variação da microdureza da ZAC (para qualificar o procedimento de soldagem segundo norma petrobras N-1706, 1983) e a macrodureza no cordão (valor medido quando o equipamento está soldado e aliviado as tensões por tratamento térmico, segundo Código ASME VIII, Divisão I, 1995), de forma que permita caracterizar a soldabilidade do aço utilizado para a fabricação de Vasos de Pressão Sujeito a Corrosão sob Tensão com H₂S, e sugerir uma metodologia para o uso do Software Analisador de Soldabilidade (SOLDASOFT), por engenheiros e técnicos de soldagem, para permitir a elaboração de Especificações e Procedimentos de Soldagem (EPS), com rapidez, qualidade e confiabilidade, considerando que o programa escolhe o modelo mais adequado quando a composição química do material cai dentro do campo de validade da fórmula.

Conforme requisitos da Norma Técnica Petrobras N-1706 (1983) é obrigatório o tratamento térmico de alívio de tensões, qualquer que seja a espessura dos componentes do equipamento, e sendo enquadrado na categoria “Sujeito a Corrosão sob Tensão com H₂S”, devem ser considerados:

- (a) Meio Corrosivo – Teor de H₂S e presença de umidade;
- (b) Tensões Atuantes – Devido ao carregamento e tensões residuais;
- (c) Microestrutura – Considerar a dureza.

Após o tratamento térmico nenhum ponto nas soldas ou nas ZACs deve apresentar dureza superior a 220 HB (N-1706, 1983; Alcântara, 1986). Segundo Machado (2000), ambientes ácidos com gases ou petróleo podem causar trinca por corrosão sob tensão em aços, devido ao Sulfeto de Hidrogênio (H₂S). O mecanismo da formação da trinca é complexo, mas a mesma ocorre fundamentalmente devido à reações de corrosão, com subsequente absorção de hidrogênio pelo material. Então, conclui-se que os principais fatores que afetam a susceptibilidade dos aços ao carbono e baixa liga à trinca por corrosão sob tensão são: atividade do hidrogênio; intensidade da tração, resistência mecânica; composição química e microestrutura do material (Machado, 2000). Utilizando os dados da composição química do material conforme tab. (1a) no software SOLDASOFT, é possível calcular a dureza na ZAC, em qualquer tempo de resfriamento (de 800 a 500°C), utilizando-se uma das três formulas: (a) Terasaki, (b) Suzuki ou (c) Yurioka, que o programa escolhe quando a composição química cai dentro do campo de validade da fórmula. Os resultados práticos obtidos através dos modelos recentes propostos por Suzuki, Yurioka ou Terasaki, para previsão da dureza, podem ser aplicados com uma boa precisão

2. MATERIAIS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS

Para a realização deste trabalho, foi utilizado como Metal Base (MB) o aço ASTM A 516 GR. 60 (espessura 25mm), cuja composição química pode ser vista na tab. (1a) e cujas propriedades mecânicas encontram-se na tab. (1b). O tipo de junta escolhido foi duplo V de topo, para posterior

retirada de corpos de provas (C. Ps.) para o estudo da ZAC. O C. P. foi soldado pelo processo SAS, utilizado-se a Especificação de Procedimento de Soldagem (EPS) número CP. 01/POLI, cujos parâmetros de soldagem são mostrados na tabela (1c), qualificada pela Máquinas Piratininga do Nordeste. Os consumíveis utilizados foram a combinação arame-fluxo EM 12K/70E, conforme o Código ASME II (1995), devidamente tratados para evitar a absorção de umidade, e consequentemente, o teor de hidrogênio, Wainer et al (1992), são descritos na EPS e suas composições químicas e propriedades mecânicas podem ser vistos nas tabelas (1d), (1e) e (1f), respectivamente.

Tabela 1a - Composição Química da Amostra Ensaída.

Elemento	Percentual (%) em peso
C	0,14
Mn	0,94
S	0,10
Si	0,20
Al	0,37

Tabela 1b – Propriedades Mecânicas da Amostra Ensaída.

Aço N.º	1
Classe ASTM	A 516 GR 60
L.R. (MPa)	454
L.E. (MPa)	289
Alongamento (%)	27
Estricção (%)	64

Tabela 1c – Procedimento de Soldagem.

Corrente (A)	Tensão (V)	Velocidade (mm/min)	Stick Out (mm)	Polaridade
454	30	380	25	DC+

Tabela 1d - Composição Química do Eletrodo (segundo o fabricante).

Metal de Solda (elementos)	Percentual (%) em peso
C	0,070
Mn	0,85
S	0,012
Si	0,015
Al	0,001

Tabela 1e e 1f – Propriedade Química e Mecânicas do Metal de Solda

Análise Química (%)	
Elemento	Concentração (%)
C	0,042
Si	0,842
Mn	1,462
P	0,030
S	0,009

Propriedades Mecânicas	
Tração (MPa)	580
Escoamento (MPa)	500
Alongamento (%)	31
Impacto (J) média Charpy V (-29 °C)	29

O Corpo de Prova para a Qualificação do Procedimento de Soldagem, foi tratado termicamente na Empresa Muchaci de acordo com os Requisitos Pertinentes aos Métodos de Fabricação do Código ASME VIII, Divisão I (1995), Parte UW-40 e UCS-56, considerando-se os seguintes dados: Taxa de aquecimento (220 °C), Taxa de resfriamento (260 °C), Temperatura de patamar (650 °C), Tempo de tratamento (1:00h). Após o Tratamento Térmico do C. P. (Figura 1), foi seccionado o cordão com serra mecânica sob refrigeração. Nesta seção (Figura 2) foram feitas análise metalográfica (micrografia, Figura 3) e medidas de microdureza (Figura 4) em Vickers (HV), segundo eixos horizontais (L1 e L2) na seção transversal da solda (Figura 4). Após a preparação para metalografia os C. Ps. foram atacados com Nital à 2% para tornar visível a solda, ZAC e MB. As Fig. (1) e (2) mostram as dimensões dos corpos de prova utilizados na medição de macrodureza, microdureza e metalografia.



Figura 1 – Corpo de prova para ensaio de macrodureza.

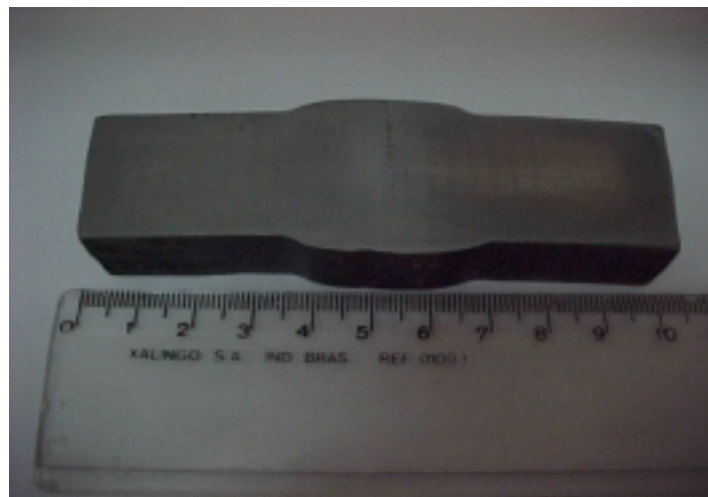


Figura 2 – Corpo de prova para ensaio de microdureza e micrografia.

As medidas de macrodureza no cordão, foram tomadas após o Tratamento Térmico, com o C. P. simulando o equipamento, em uma faixa de 5 mm paralela ao eixo da solda, e foram analisados 17 pontos em cada lado do cordão usado-se um medidor portátil de dureza Brinell, tipo “poldi”.

3. RESULTADOS.

3.1. Análise Metalográfica

Em juntas soldadas de aços estruturais, o constituinte mais desejável para prevenir as trincas a frio é a Ferrita Acicular (AF). Essa microestrutura é constituída por pequenos grãos não alinhados, precipitados no interior da austenita. Em geral, os grãos finos da Ferrita Acicular e os contornos de alto ângulo favorecem uma excelente combinação entre resistência às trincas a frio e à tenacidade.

Usualmente, a Perlita se apresenta adjacente às bandas de Ferrita de Contorno de Grão e é mais facilmente observada através da microscopia eletrônica. A nucleação da Perlita ocorre nos Contornos de Grãos Austeníticos decompostos em lamelas de Ferrita e Cementita. O corpo de prova (Figura 3) apresenta as microestruturas de interesse do estudo, em particular a ZAC, que se formam em função de elementos de liga e da taxa de resfriamento. A Ferrita Acicular proporciona uma boa combinação de resistência mecânica e tenacidade.

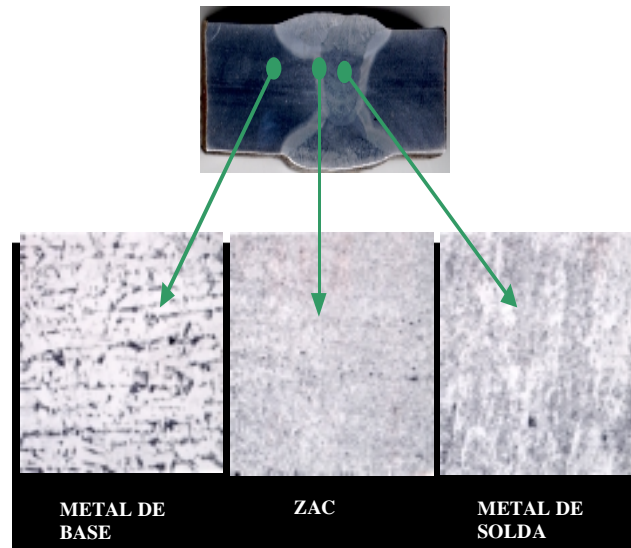


Figura 3. Metalografia do corpo de prova. Ataque Nital 2%. Aumento 400 x.

3.2. Cálculo, Ensaio e Análise da Dureza da ZAC

Para verificar o perfil de dureza da ZAC, foi feito o roteiro abaixo:

a) Previsão de dureza do aço estrutural, obtido através do cálculo empírico de dureza máxima sob cordão (Lopes e Miranda, 1993), utilizado a seguinte equação (1):

$$HV_{m\acute{a}x.} = 90 + 109C + 47Si + 75Mn + 30Ni + 31Cr. \quad (1)$$

Onde, substituindo os valores dos elementos, para o aço estudado, teremos:

$$HV_{m\acute{a}x.} = 90 + 109 \times 0,14 + 47 \times 0,20 + 75 \times 0,94$$

$$HV_{m\acute{a}x.} = 90 + 26,60 + 9,40 + 70,00$$

$$Hvm\acute{a}x. = 196,50$$

b) Ensaio

Macro dureza – No ensaio da macro dureza da ZAC, após Tratamento Térmico, obteve-se em média o seguinte resultado:

ZAC – 151 HV

Micro dureza – Avaliação da dureza nos pontos das regiões das filiações L1 e L2, espaçadas entre si de 7 mm (Figura 6), com distâncias entre pontos de 0,6 e 0,65 mm são apresentados na tabela 3 e o perfil de dureza na Figura 7.

c) Análise de Situação de Soldagem

O Analisador de Situações de Soldagem é uma ferramenta valiosa na elaboração de Procedimentos de Soldagem. A seguir apresenta-se os resultados obtidos (Figuras 4 e 5) com a utilização do SOLDASOFT, usado-se a composição química do aço estudado, como dado de entrada.

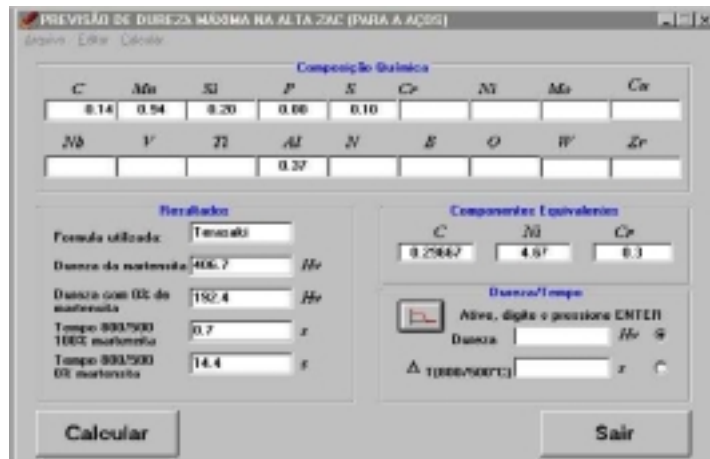


Figura 4. Previsão de Dureza Máxima na ZAC (SOLDASOFT).

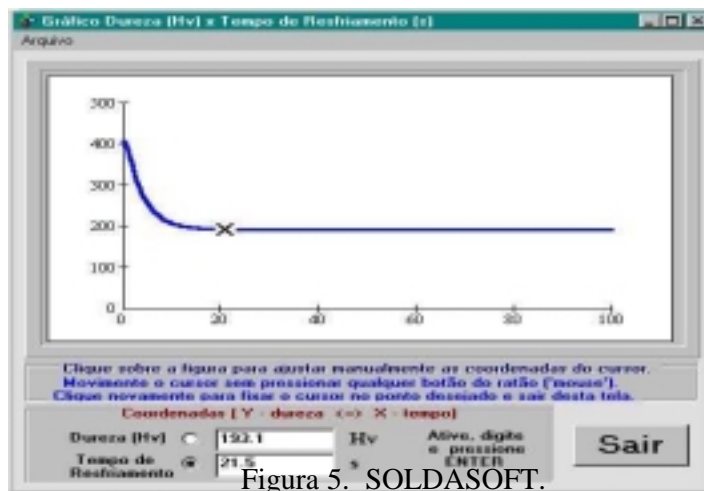


Figura 5. SOLDASOFT.

Figura 5. Gráfico Dureza (HV) x Tempo de Resfriamento (s) – SOLDASOFT.

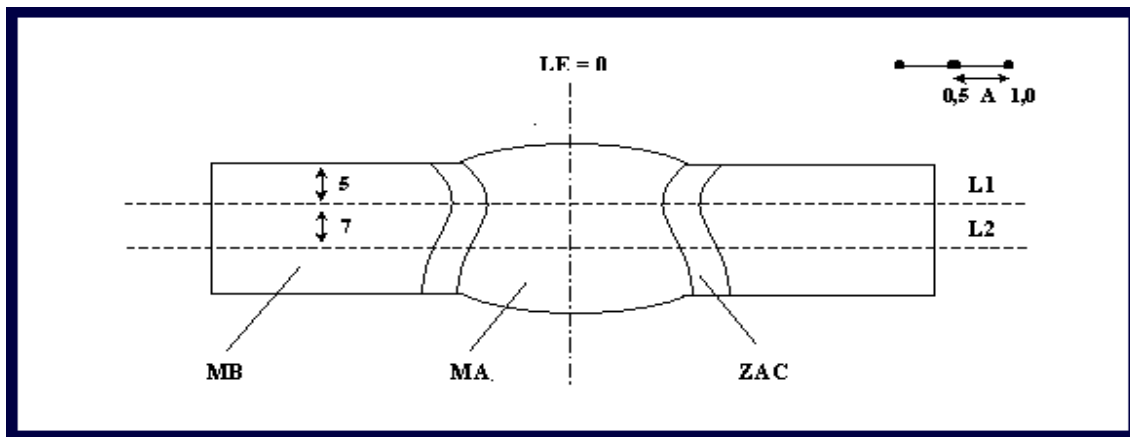


Figura 6 – Esquema do C. P. para ensaio de Microdureza.

4. RESULTADOS OBTIDOS

A variação da dureza nas três regiões do corpo de prova estão apresentados na Tab. (3) e na Fig. (7).

Tabela 3. Resultados da análise da microdureza

Dist.	0.6	Dist.	0.65	Dist.	0.6
L1	L2	L1	L2	L1	L2
197.8	200.0	189.8	201.5	132.5	160.9
195.1	181.5	181.5	204.3	143.7	173.0
193.3	195.9	170.0	194.2	164.3	176.8
192.4	184.7	160.9	165.0	152.5	151.3
190.7	195.6	160.9	170.7	148.3	137.1

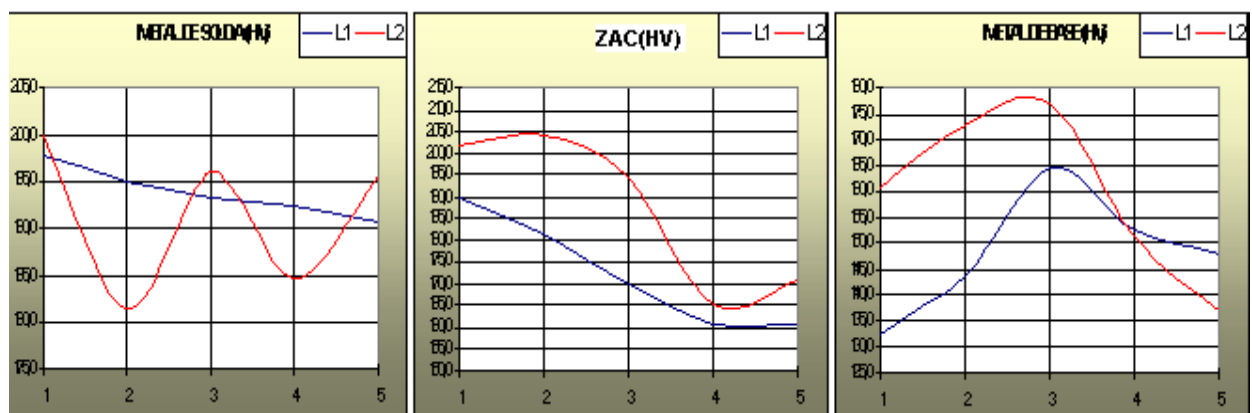


Figura 7. Perfil de Dureza nas três regiões do corpo de prova

5. CONCLUSÕES

Estudou-se a variação da dureza do aço ASTM A 516 Gr 60 em soldagem a Arco submerso, voltado para a sua aplicação em vasos de pressão. As principais conclusões foram:

O valor máximo (média) obtido pelo procedimento analítico, pelos ensaios e pelo SOLDASOFT foram inferiores ao valor máximo de 220 HB permitido pela Norma Técnica Petrobras, logo satisfatórios.

Com o controle dos parâmetros de soldagem definidos na EPS, o C. P. indicou ausência de Trincas a Frio.

Na análise microestrutural quantitativa da ZAC foi observada uma maior quantidade de Ferrita Acicular (AF) e, conseqüentemente, essa combinação de metal base e consumível fornece maior resistência às trincas induzidas pelo Hidrogênio.

Verificou-se que a Ferrita Acicular funciona como uma barreira freando o movimento das trincas a frio. Portanto, um aumento da quantidade de Ferrita Acicular (AF) aumenta a resistência às trincas induzidas pelo Hidrogênio.

6. REFERÊNCIAS

- American Society of Mechanical Engineers, 1995, “Boiler and Pressure Vessel Code, Seção IX”, ASME, USA, 439 pp.
- American Society of Mechanical Engineers, 1995, “Especificação de Materiais – Parte C” Instituto Brasileiro de Petróleo, Rio de Janeiro, Brasil, 250 pp.
- American Society of Mechanical Engineers, 1995, “Qualificação para Soldagem e Brasagem”, Instituto Brasileiro de Petróleo, Rio de Janeiro, Brasil, 280 pp.
- Alcantara, Nelson Guedes de, 1986, “Trincas a Frio Causadas pelo Hidrogênio - Problemas e Soluções”, 1º Simpósio de Tecnologia da Soldagem da Região Sul - SENAI, , Porto Alegre, Brasil, 18 pp.
- Billa, Renan, 1991, “Influência da Dureza e da Microestrutura na Soldabilidade dos Aços Microligados”, Congresso de Engenharia Mecânica Norte-Nordeste, Natal, Brasil, pp. 699-708, Anais.
- Barros, P.M. de , 1990, “Introdução a Metalurgia da Soldagem”, Associação Brasileira de Soldagem , Apostila de Curso ABS, São Paulo, Brasil, 177 pp.
- Bohorques, C.E.N. & Buschinelli, A.J.A., 1989, “Previsão da Dureza Máxima na Zona Afetada pelo Calor”, XV Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem, São Paulo, Brasil, pp. 27-31, Anais.
- Bursteinas, O. & Sivieri, O. A., 1983, “Soldabilidade de Aços Estruturais Controle de Estrutura na Zona Afetada pelo Calor”, Metalurgia - ABM, Vol. 39, n. 310, São Paulo, Brasil, pp. 471-478.
- Liu, S. e Bracarense, A. Q., 1994, “Desenvolvimento da Soldagem de Aço de Alta Resistência e Baixa Liga em Aços de Alta Resistência”, Soldagem e Materiais – ABS, Volume 6, n.º 2, São Paulo, Brasil, pp. 18-32.
- Lopes, E. M. Dias e Miranda, R. M., Instituto de Soldadura e Qualidade, 1993, Metalurgia da Soldadura, Lisboa, Portugal, 299 pp.
- Machado, Ivan Guerra, 2000, “Condução do Calor na Soldagem: Fundamentos e Aplicações”, Imprensa Livre, Porto Alegre, Brasil, 119 pp.
- Maciel, Theophilo Moura, 1994, “Ciclos Térmicos em Metais de Solda de Aços de Alta Resistência”, UFSCar, São Paulo, Brasil, 194 pp, (tese de doutorado).

- Modenesi, P. J. e Araújo, C. L., 1991, “Medida e Análise de Ciclos Térmicos Utilizando um Equipamento Baseado em Microprocessador”, Anais do XVII Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem - ABS, Recife, Brasil, pp. 177-192.
- Petrobras, 1983, “N-1706: Projeto, Fabricação e Montagem de Vasos de Pressão Sujeitos a Corrosão Sob Tensão com H₂S”, Petrobras, Rio de Janeiro, Brasil, 3 pp.
- Suzuki, H and Yurioka, N, 1987, “Weldability of Line Pipe Steels and Prevention of Cracking in Field Welding”, IIW Doc. IX – 1458, USA, 28 p.
- Suzuki, H, 1985, “A new formula forestim ating Haz Maxim um Hartness in Welded Steel”, IIW Doc. IX, USA, pp. 1351-1385.
- Wainer et al, 1992, “Soldagem Processos e Metalurgia”, Editora Edgar Blücher Ltda, São Paulo, Brasil, 494 pp.

DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

ANALYSIS OF THE HARDNESS IN WELDED JUNCTIONS OF A STEEL ASTM A 516 GR 60 CITIZEN TO THE CORROSION UNDER TENSION WITH H₂S.

Francisco Ilo Bezerra Cardoso

Escola Politécnica de Pernambuco – UPE, Rua Benfica, 445, Madalena, Recife, CEP: 50750-410,

E-mail: ilo@elogica.com.br

Ricardo Artur Sanguinetti Ferreira, Paulo Marcelo Pedroza de Almeida e Rodrigo de Souza Mendonça.

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Avenida Ac. Hélio Ramos, s/n, CDU, Recife, CEP: 50740-540, e-mail: ras@npd.ufpe.br

Abstract. World wide studies have been performed, to stablish the embrittlement mechanisms for the welded junctions on steel. A common defect on the welding of high resistance steel are the Hydrogen Induced Cracking. Several issues influences on the nucleation and propagation of those cracks, both on the Thermal Affected Zone as well as on the Weld Metal. The work has as objective main analyze the profile of microhardness in the region of the zone affected for the heat (ZAC), in multipasses junctions gotten by means of the process of welding to the submerged arc (SAS) and make its microstructural characterization. The structural steel selected for this study was the 516 ASTM GR. 60, sufficiently specified for the welding of vases of subject pressure to the corrosion under tension with H₂S. The cold cracks is presented as one of the main problems of weldability of this steel. To minimize the occurrence of this type of crack is necessary prevent high values of hardness in the ZAC. To follow the properties of the ZAC, it was realized the profile of hardness, macrographs and anlysis Metallographic of the welded material. This profile was compared with shunting lines of maximum hardness in the AZC gotten through formulas of Yurioka, Terasaki or Suzuki, through of the Analytical Software of Weldability (SOLDASOFT). The gotten results had shown vaalues of microhardness in the region of ZAC the sufficiently coherent with the microstructure observed and compatible with the considered models, besides attend of the norms requirements of the equipment design.

Keywords: hardness, microstructure, welding.