Unisanta Science and Technology, **2018, 3, July**
Published Online 2018 Vol.7 N°1 http://periodicos.unisanta.br/index.php/sat)

UNISANTA
Science and Technology
ISSN 2317-1316

Avaliação do Desempenho de uma União Soldada para Aplicação em Tubulações de Plataformas de Petróleo

Willy Ank de Morais[1,2] , Adriana Rey Rey[1], Ethiene Raunaimer Takakura[1], Felipe de Oliveira Barros[1], Jeferson Alves de Oliveira[1], Mauro André Guilherme Vieira Júnior[1], Wanderley Graça Rivela Júnior[1] , Valmir Demarchi[1] e Nestor Ferreira de Carvalho[1]

UNISANTA[1] – Universidade Santa Cecília – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica - PPGEMec
Rua Oswaldo Cruz, 266 - Santos-SP, Brasil - CEP: 11045-100

WILLY ANK SOLUÇÕES [2] – Departamento Técnico
Rua Onze de Junho, 312 A.102 - São Vicente-SP, Brasil- CEP: 11320-160

Received April, 2018
E-mail*:* willyank@unisanta.br

Resumo: Este trabalho objetiva a descrição dos diferentes desempenhos sob corrosão de uma junta soldada de uma tubulação de aço carbono obtida pelos consumíveis ER 70S-3 e ER 80S-Ni2, empregada em plataformas offshore. Amostras de tubos e chapas de aço carbono foram soldadas, através do processo TIG, empregando tais consumíveis, e submetidas a ensaio de corrosão acelerada por perda de massa em uma cuba com fluxo constante de água destilada e ácido sulfúrico a 98%. Posteriormente, as amostras foram caracterizadas de modo a quantificar as possíveis alterações nas características mecânicas, estruturais e superficiais. O resultado final foi que a corrosão ocasionada na junta com o consumível ER 80S-Ni2 apresentou características diferenciadas e mais deletérias ao desempenho estrutural do material, apesar de ser o consumível inicialmente recomendado para a aplicação.

Palavras-chave: Corrosão, Perda de Massa, Consumíveis de Soldagem.

Evaluation of the Performance of a Welded Joint for Application in Pipes for Oil Platforms

Abstract: This work has as objective to describe the different performances under corrosion of a welded joint composed of a carbon steel pipe obtained with ER 70S-3 and ER 80S-Ni2 consumables and used at offshore platforms. Samples of carbon steel tubes and plates were welded through TIG process, using the different consumables, and were subjected to accelerated corrosion test by mass loss in a tank with constant flow of distilled water and 98% sulfuric acid. Subsequently, the samples were characterized in order to identify possible changes in the mechanical, structural and surface characteristics. As the result corrosion caused in the joint with the ER 80S-Ni2 consumable showed more deleterious to the structural performance of the material, despite being the consumable initially recommended for the application.

Keywords: Corrosion, Mass Loss, Welding Consumable.

1. Introdução

Tubulações, fabricadas a partir de juntas soldadas, são muito utilizadas para escoar de forma correta os produtos produzidos nas indústrias de modo geral. Esses equipamentos podem ser encontrados em diversos ambientes, inclusive marítimos, sofrendo a influência de diversos processos, como exemplo, a corrosão e temperaturas de aplicação que afetam diretamente as propriedades físicas e mecânicas dos materiais metálicos utilizados.

Há muitos anos a humanidade sofre com o problema da corrosão e procura formas de prevenção, por isso é muito importante o estudo completo do material que será aplicado, do processo onde será utilizado e do ambiente em que se encontra. Um dos motivos principais de se buscar a correta aplicação e métodos preventivos da corrosão é o custo; atualmente gastam-se bilhões de dólares devido às perdas por corrosão, os quais poderiam ser evitados com um estudo aprimorado deste processo [1].

Copyright © 2018 ISESC.

O presente trabalho teve como base um estudo realizado anteriormente, análise do desempenho de uma junta soldada para tubulações de uma plataforma marítima [2], que foi realizado após a solicitação de uma empresa contratada para realizar serviços de soldagem em tubulações de aço carbono ASTM A333 Gr.6 com condições de trabalho para baixa temperatura, 0°C com picos de até -20°C, no segmento offshore com aplicação de consumíveis, o ER 80S-Ni2, porém com custo elevado. A contratada solicitou um estudo para viabilizar a utilização de um consumível comum, ER 70S-3, realizado através de análise química e mecânica do aço e dos consumíveis em questão. E após soldagem com ER 70S-3 foi realizado ensaio de impacto Charpy.

Apesar do consumível ER 80S-Ni2 ser especificado para uso em baixas temperaturas, este possui uma composição química e características técnicas que não recomendariam o seu emprego na tubulação estudada, que é empregada em uma plataforma offshore [2].

Visando dar continuidade no estudo feito anteriormente, será realizado um estudo de compatibilidade mecânica, através de ensaio de tração, química e do ensaio de perda de massa por corrosão acelerada, em chapas e tubos de aço carbono estrutural comum, soldados com consumíveis similares e dissimilares, ER 70S-3 e ER 80S-Ni2, para aplicação em tubulação de baixa temperatura no segmento offshore a fim de quantificar, através dos dados obtidos durante um determinado tempo o processo de corrosão decorrente da aplicação destes consumíveis no processo de soldagem e também análise superficiais de rugosidade.

Para este estudo foram realizadas pesquisas referentes a normas aplicáveis, processos de soldagem, tipos de corrosão e ensaios para determinação dos valores a serem quantificados durante o experimento a ser realizado.

2. Materiais e Métodos

O presente estudo foi desenvolvido empregando várias técnicas experimentais. Basicamente, foram fabricadas juntas soldadas de aço carbono, na forma de chapas e tubos, com consumíveis de aço carbono (ER 70S-3) e de aço ligado ao Níquel (ER 80 SNi2), que foram submetidas a ensaios de corrosão acelerada e posteriormente caracterizadas.

Para a realização da soldagem e dos ensaios de corrosão e caracterização foram utilizados os seguintes materiais:

- Tubo de aço carbono SAE J403 1020, diâmetro de 4" nominal (114,3 mm) e espessura de 7,9 mm.
- Chapa de aço carbono ASTM A36 com espessura de 5,0 mm.
- Consumível de soldagem, vareta para processo TIG (GTAW), ER80S-Ni2 com diâmetro de 2,4 mm.
- Consumível de soldagem, vareta para processo TIG (GTAW), ER70S-3 com diâmetro de 3,2 mm.
- Água destilada (H_2O)
- Ácido sulfúrico

Os equipamentos utilizados na soldagem e nos ensaios de corrosão e caracterização foram seguintes:

- Conjunto de cubas acrílica com capacidade total de 60 litros;
- pHmetro Ajmcronal AJX-512;
- Máquina de solda Miller CST-280;
- Máquina de serra fita industrial Franho FM 1600;.
- Equipamento de preparação metalográfica (prensa de embutimento, lixadoras, politriz);
- Microscópio Oplympus Modelo BX60M;
- Máquina universal de ensaios mecânicos EMIC modelo DL10.000;
- Rugosímetro Mitutoyo SJ-201.
- Balança digital Marte modelo AL500.

2.1 Confecção dos Corpos de Prova (CPs)

A confecção das amostras foi realizada nas instalações do Centro de Soldagem-INSPEBRAS®, iniciado através da soldagem do tubo e da chapa, utilizando o processo TIG (GTAW) e seguindo os parâmetros da Especificação de Procedimento de Soldagem.

Os parâmetros de soldagem aplicados durante o processo e o cálculo do aporte térmico são demonstrados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros de soldagem utilizados e cálculo do aporte de energia.

Processo	Consumível			Corrente Elétrica			Tensão (V)	Veloc. (mm/min)	Aporte de Energia (kJ)
	Espec.	Classif.	Diam. (mm)	Tipo	Polaridade	Amperes (A)			
GTAW	5.18	ER 70S-3	3,2	CC	(-)	110	12	59	**1,34**
GTAW	5.28	ER 80S-Ni2	2,5	CC	(-)	120	11	65	**1,22**

Copyright © 2018 ISESC

Foram confeccionadas, utilizando máquina de solda Miller CST-280, 04 (quatro) amostras, sendo 2 chapas e 2 tubos, fabricados com o consumível ER 70S-3 conforme EPS criada pelos autores, com assessoria da INPEBRAS e 2 tubos, fabricados com o consumível ER 80S-Ni2, também em obediência a uma EPS criada especialmente para este fim.

Após a soldagem, foram retirados 6 corpos de prova de cada amostra totalizando 24 CPs, apresentados na Figura 1. O corte foi executado utilizando máquina de serra de fita refrigerada FM 1600, fabricada pela Franho, nas dimensões apresentadas na Figura 2. Os CPs obtidos, identificados por punção, foram analisados através dos ensaios conforme Tabela 2.



Figura 1. Corpos de prova confeccionados preparados para este trabalho.

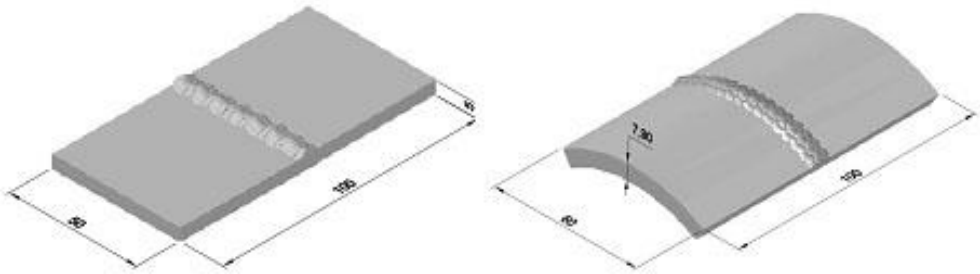


Figura 2. Dimensões do Corpos de prova após o corte oriundo: esquerda chapa; direita tubo.

Tabela 2. Definição dos Ensaios por Corpo de Prova.

PROGRAMAÇÃO DE ENSAIOS						
CONSUMÍVEL	TUBO_1 CHAPA_1	TUBO_2 CHAPA_2	TUBO_3 CHAPA_3	TUBO_4 CHAPA_4	TUBO_5 CHAPA_5	TUBO_6 CHAPA_6
1º ETAPA						
ER70S-3	DUREZA TRAÇÃO	DUREZA TRAÇÃO	MACROGRAFIA MICROGRAFIA	PERDA DE MASSA RUGOSIDADE	PERDA DE MASSA RUGOSIDADE	PERDA DE MASSA RUGOSIDADE
ER80S-Ni2	DUREZA TRAÇÃO	DUREZA TRAÇÃO	MACROGRAFIA MICROGRAFIA	PERDA DE MASSA RUGOSIDADE	PERDA DE MASSA RUGOSIDADE	PERDA DE MASSA RUGOSIDADE
				Ensaio de Corrosão		
2º ETAPA						
ER70S-3				PERDA DE MASSA RUGOSIDADE DUREZA TRAÇÃO	PERDA DE MASSA RUGOSIDADE DUREZA TRAÇÃO	PERDA DE MASSA RUGOSIDADE
ER80S-Ni2				PERDA DE MASSA RUGOSIDADE DUREZA TRAÇÃO	PERDA DE MASSA RUGOSIDADE DUREZA TRAÇÃO	PERDA DE MASSA RUGOSIDADE

Copyright © 2018 ISESC

2.2 Ensaio de Corrosão Acelerada por Perda de Massa

Foi utilizado o processo de corrosão acelerada para obter resultados com maior rapidez e para estudar o comportamento da corrosão controlando os parâmetros, temperatura, pH e concentração. Para a iniciação deste processo, os CPs sofreram uma limpeza mecânica manual com a utilização de escova de aço rotativa, e em seguida uma limpeza com acetona para remover impurezas, podendo ser visto na Figura 3, para em seguida serem posicionados na cuba.

A cuba utilizada para realização do ensaio, presente no laboratório de operações unitárias da UNISANTA - Universidade Santa Cecília, tem dimensões conforme Figura 4, com capacidade volumétrica máxima de 60 litros garantindo imersão total dos CPs e possuindo uma circulação constante, que garante uma velocidade entre 0,5 e 2 m/s, para minimizar a possibilidade de erosão e de deposição. Os testes de corrosão foram realizados por imersão das amostras em uma solução aquosa de ácido sulfúrico na concentração de 0,25 molar. Durante todo o ensaio o pH da solução foi inferior a 3,5 o que não levou à necessidade da reposição de ácido.

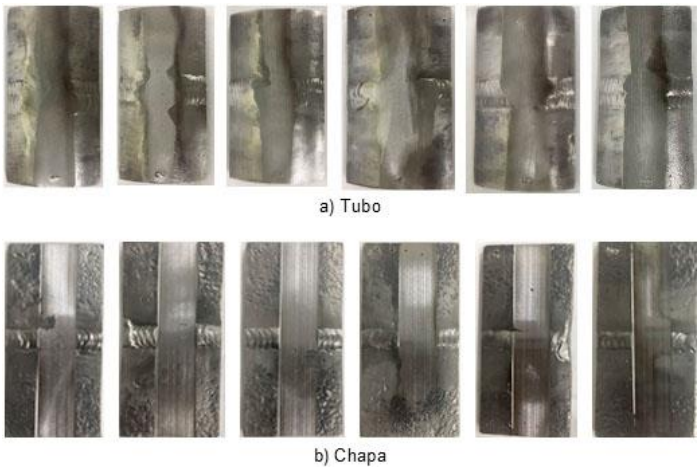


Figura 3. CPs de chapas e tubos preparados antes da inserção na cuba. A linha de retificação central foi necessária para homogeneizar a superfície para a medição da rugosidade.

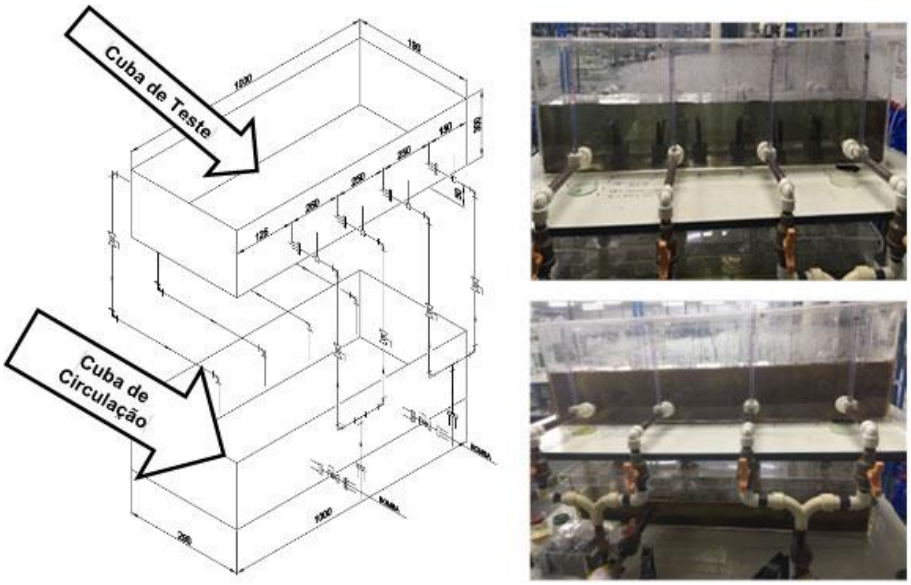


Figura 4. Cuba para ensaio de corrosão: esquema dimensional (esquerda) e foto em uso (direita).

Copyright © 2018 ISESC

A duração do teste foi definida em 17 dias, tendo como base os experimentos desenvolvidos por Carvalho [3]. Durante o ensaio foi realizado em acompanhamento diário do pH e temperatura da solução, com exceção dos domingos e feriados, totalizando 14 medições.

Antes da imersão dos CPs na cuba foi realizada uma pesagem individual, utilizando uma balança digital Marte modelo AL500 com precisão de 0,01 g, para realizar a comparação com a massa final e assim tornar possível o cálculo da taxa de corrosão por perda de massa.

2.3 Ensaios de Caracterização

Neste trabalho foram empregados ensaios de análise estrutural, superficial e de propriedades mecânicas para caracterizar as amostras antes e após os ensaios de corrosão acelerada.

2.3.1 Análise Estrutural

Neste estudo, ensaios metalográficos, que são empregados para correlacionar as propriedades físicas do material com a sua estrutura, foram realizados macrograficamente e micrograficamente.

- **Macrografia** – foram preparados os 4 CPs reservados a esta análise, conforme Tabela 2, através de lixamento fino e ataque químico. Para a realização do ataque químico, foi utilizado uma aplicação de reagente de Nital 3% (3ml de Ácido Nítrico concentrado (HNO_3) e 97 ml de álcool etílico (P.A), após rápida reação, efetuou-se uma lavagem com água corrente, álcool etílico e uma aplicação de jato de ar quente.
- **Micrografia** – os 4 CPs analisados macrograficamente foram posteriormente polidos com diamante em suspensão de 6 μm, seguida de uma lavagem com água corrente, álcool etílico e uma aplicação de jato de ar quente.

O ensaio micrográfico foi realizado utilizando microscópio Oplympus Modelo BX60M para gerar imagens das regiões do metal de solda, metal base e zona termicamente afetada com magnificações superiores a 50X.

2.3.2 Rugosidade

Com intuito de obter parâmetros iniciais de rugosidade foi necessário realizar uma preparação de superfície regular, através do processo de retificação inserindo uma pista de medição, transversal ao cordão de solda visível na Figura 3, e com isto obter um padrão para comparação da evolução da rugosidade nos CPs. A medição de rugosidade, realizado no laboratório de metalografia da UNISANTA utilizou um rugosímetro portátil digital, Mitutoyo SJ-201, que forneceu a leitura dos pontos de rugosidade Ra e Ry, em três regiões distintas: metal base (MB), zona termicamente afetada (ZTA) e metal de solda (MS) dos CPs.

O rugosímetro foi posicionado de maneira que sua agulha (apalpador) percorresse um caminho perpendicular ao sentido de retificação da pista existente no respectivo CP, criando sulcos com direções definidas, para evitar medições incorretas ao acabamento superficial a ser analisado. As medições foram feitas antes e após os ensaios de corrosão acelerada

2.3.3 Ensaios Mecânicos

Para análise do ensaio de tração se fez necessário adequar os CPs pré-fabricados, usinando-os a fim de reduzir a espessura para inferior a 5 mm, dimensão admissível pela garra da máquina de tração. Foi preservado, no processo de usinagem o acabamento na face do cordão da solda nos CPs, antes e após o processo de corrosão acelerada.

Devido as dimensões necessárias para a imersão dos mesmos na cuba de corrosão, não se adotou dimensões normalizadas e para não reduzir a área contendo produtos de corrosão, foi mantido a sua forma retangular. Este formato, mantendo as dimensões requisitadas pela cuba do ensaio de corrosão acelerada, estão conforme a NBR 8164:1983.

Esta norma foi concebida para avaliar as características plásticas de metais e não prevê a redução de seção reta do CP empregado, pois o ensaio é considerado apenas até o início da estrição. Um CP deste tipo tende a apresentar estricção fora da região central, provavelmente no ponto de contato com as garras da máquina, no qual as tensões possuem uma ligeira concentração de tensão. As dimensões médias dos CPs foram definidas conforme mostrado na Figura 5

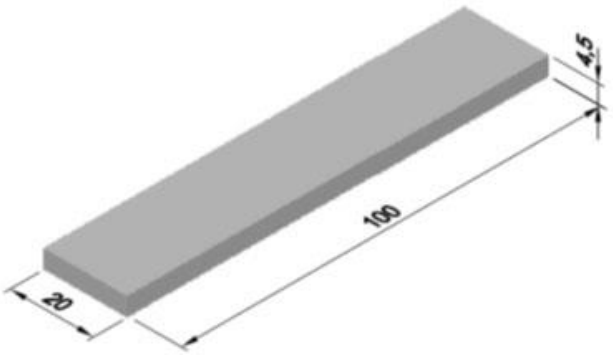


Figura 5. Dimensões médias dos CPs para ensaios de tração.

Copyright © 2018 ISESC

A fim de avaliar a influência da corrosão superficial no comportamento mecânico das juntas soldadas, foi realizado ensaio de tração para os CP's designados conforme Tabela 2, para a 1ª e 2ª etapa (antes e após os ensaios de corrosão acelerada). Em todas as amostras foi empregada a velocidade de deformação de 10mm/min e os mesmos parâmetros de configuração da máquina. Como o objetivo foi apenas comparar os resultados, não houve a necessidade de determinar o coeficiente de elasticidade característico do material, com a utilização de extensômetro, sendo suficiente a curva registrada diretamente pela máquina de tração, sem extensômetro.

3. Resultados e Discussão

Foi realizada análise química, em duas amostras, chapa e tubo, antes da confecção dos CPs. A Tabela 3 confirma que a composição química está de acordo com a desejada para o material base aplicado no estudo em comparação a Norma ASTM A333 Gr. 6 [2].

A macrografia realizada nos CPs designados, conforme Tabela 2, torna possível identificar as regiões existentes, podendo avaliar a extensão da ZTA e sua proporcionalidade em relação às zonas fundidas.

A Figura 6 ilustra duas das macrografias registradas neste trabalho.

A análise macrográfica realizada nos CPs confeccionados com ER 70S-3 apresentam uma ZTA bem definida, tendo uma raiz mais homogênea associada à menor velocidade de resfriamento devido aos passes de solda depositados acima da mesma. Já os CPs confeccionados com ER 80S-Ni2 apresentam uma zona termicamente afetada e camadas provenientes do processo de soldagem menos definida que nos CPs obtidos com o consumível ER 70S-3, provavelmente devido à reação diferenciada do tipo de material de solda. Estes últimos também possuem uma raiz mais homogênea.

Na micrografia, Figura 7, pode se analisar no material de base utilizado para a confecção dos CPs a presença dos microconstituintes, ferrita e perlita, composição normal para um aço carbono estrutural comum.

Verificando na configuração da perlita um grande bandeamento para o tubo, característica comum ao processo de fabricação de tubos sem costura. Já a chapa possui características semelhantes ao metal de base do tubo, exceto que a perlita apresenta menor bandeamento.

Tabela 3. Resultados da análise química da chapa e do tubo empregados neste trabalho.

	Chapa		Tubo	
Elemento de Liga (% em peso)	Nitrogenio	0,0085	Nitrogenio	0,0028
	Alumínio	0,0270	Alumínio	0,0260
	Boro	<0,0003	Boro	<0,0003
	Carbono	0,1700	Carbono	0,2100
	Cromo	0,0300	Cromo	0,0400
	Cobre	0,0400	Cobre	<0,002
	Manganês	0,8200	Manganês	0,5300
	Molibdênio	<0,004	Molibdênio	0,0100
	Niobio	<0,002	Niobio	<0,002
	Níquel	0,0200	Níquel	0,0100
	Fósforo	0,0140	Fósforo	0,0150
	Enxofre	0,0110	Enxofre	0,0020
	Silício	0,2400	Silício	0,2200
	Titânio	0,0010	Titânio	0,0020
	Vanádio	<0,003	Vanádio	<0,0003

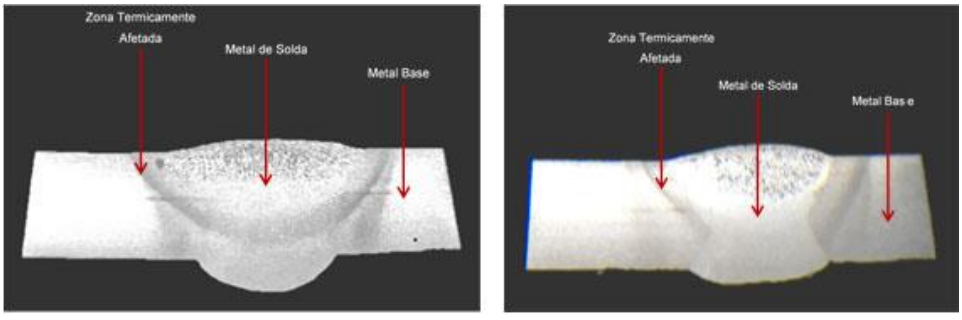


Figura 6. Macrografia do CP soldado com consumível ER 70S-3 (esquerda) e ER 80S-Ni2 (direita).

Copyright © 2018 ISESC

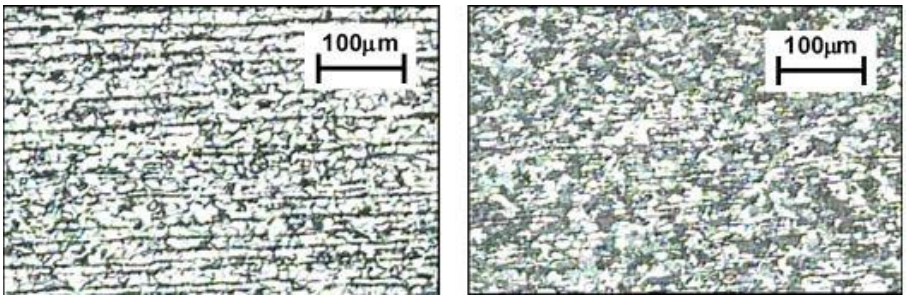


Figura 7. Micrografia do metal base (MB) dos tubos (esquerda) e chapa (direita).

A ZTA em diversas localidades, com ampliações de 50x e 100x, apresentou em todos os casos uma microestrutura normal, caracterizado por uma estrutura fina de perlita e ferrita, devido ao aporte térmico de soldagem, sem a formação de martensita.

O MS na região do acabamento, apresentou os microconstituintes perlita com ferrita agulhada, devido à alta taxa de resfriamento na camada superficial da solda, por estar em contato direto com o meio externo.

O MS localizado na raiz possui como característica ferrita e perlita equiaxial, devido à baixa taxa de resfriamento desta camada.

O passe de raiz, pelo efeito do aquecimento e resfriamento das camadas posteriores, tem a sua velocidade de resfriamento baixa.

Em consequência da presença de níquel nos CPs obtidos com o uso do consumível ER 80S-Ni2, criou-se uma tendência de formação de uma estrutura bifásica, que consiste na predominância de duas fases na sua microestrutura, neste caso, perlita e ferrita.

A Figura 8 resume as principais características descritas.

Após a imersão dos CP's na cuba, se tornou possível observar o surgimento de bolhas junto às peças. No decorrer do ensaio, foi possível observar alterações na coloração da solução devido à grande presença de metal solubilizado e depositado no fundo da cuba, decorrente da corrosão. Junto ao acompanhamento dos parâmetros do ensaio, se efetuou o acompanhamento fotográfico do aspecto da solução e na evolução aparente da corrosão nos CPs. Ao término do ensaio foram obtidos os valores de perda de massa, através da pesagem inicial e final, e assim calculada a taxa de corrosão de cada CP conforme a NACE RP 0775:2005 [4]:

$$T_c = \frac{K \cdot W}{A \cdot T \cdot D} \quad (1)$$

sendo:

T_C a taxa de corrosão, (mm/ano)
K uma constante, adimensional
T o tempo de exposição, (h)
A a área (cm^2)
W a perda de massa (g)
D a densidade em g/cm^3

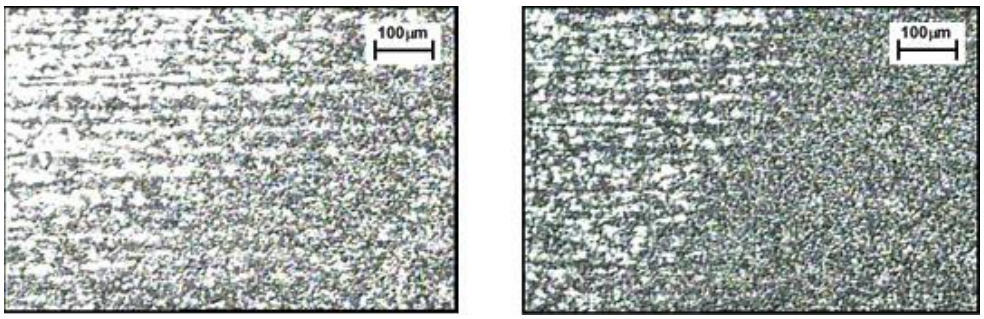


Figura 8. Micrografia do obtida entre o MB e ZTA na porção superior dos tubos empregando o consumível ER 70S-3 (esquerda) e ER 80S-Ni2 (direita).

Copyright © 2018 ISESC

Após a obtenção dos dados de perda de massa, com a constante K obtida no item 8.1 da ASTM G1 [5] igual à $8{,}76x10^4$, com o tempo de exposição (371 h), densidade do material (7,86 g/cm^3) e com as áreas de exposição de 133,4 e 110 cm^2 para tubos e chapas, respectivamente, foi possível calcular as taxas de corrosão para cada CP utilizando a Equação 1. Os resultados estão apresentados na Tabela 4. A diferença obtida na taxa de corrosão entre os tubos e as chapas está relacionada ao fato que os tubos tiveram somente corrosão uniforme e as chapas apresentaram além da corrosão uniforme, corrosão por pites, conforme ilustrado na Figura 9.

A taxa de corrosão determinada por perda de massa mede apenas a corrosão determinada por perda de massa mede apenas a corrosão uniforme. Portanto, para se avaliar a corrosão das chapas é preciso calcular a taxa de pite que mede a corrosão devido aos pites e adotar como a taxa de corrosão das chapas a maior das duas. A NACE RP0775:2005 [4] recomenda o emprego
da equação 2 para cálculo da taxa de pite (TP).

$$TP = \frac{PPMP}{T}.365 \qquad (2)$$

sendo:

TP: taxa de pite, (mm/a)
PPMP: Profundidade do Pite Mais Profundo, (mm)
T: tempo de exposição, (dias)

A ocorrência de pites na chapa está associada a quantidade de enxofre na composição química da chapa, apresentada na Tabela 3, que foi cerca de 5 vezes maior que a quantidade de enxofre na composição química dos tubos. Essa interferência é descrita por Fontana e Greene [6].

Como não foram medidas grandes diferenças nas taxasde corrosão, após a correção pela taxa por pite, a avaliação da influência da soldagem foi efetuada de maneira qualitativa, através da inspeção visual.

Visualmente os CPs confeccionados com o ER 80S-Ni2 apresentam pontos de corrosão mais acentuada se comparado aos soldados com o ER 70S-3. Nestes, destacam-se as zonas de ligação entre a material base e de solda, na ZTA, onde se formaram canais de corrosão visivelmente mais afetada que nas demais regiões, evidenciando a formação de pilha galvânica. Este cenário está ilustrado na Figura 9.

A corrosão assimétrica apresentada nos CPs de tubos soldados com o consumível ER 80S-Ni2, dissimilar ao metal base, originou-se devido aos mesmos possuírem uma diluição diferenciada do material de base em um dos lados do cordão de solda.

Esta diluição diferenciada levou aos mesmos a serem mais suscetível ao processo de corrosão galvânica mais localizada em um dos lados da junta, como mostrado nas três fotos na parte inferior direita da Figura 9.

Os resultados obtidos para a medição de rugosidade no MB e MS dos CPs soldados com o consumível ER 80S-Ni2 apresentaram expressivamente uma evolução melhor que os soldados com o ER 70S-3. Porém os CPs soldados com o consumível ER 80S-Ni2 criou regiões profundamente afetadas que impossibilitaram a medição da rugosidade na ZTA, forçando a escolha de locais não representativos ao aspecto superficial da região.

Tabela 4. Taxas de corrosão das amostras de chapas e de tubos empregados neste trabalho. CPs de 1 a 3 foram obtidos com consumível ER 70S-3 e os CPs de 4 a 6 com o ER 80S-Ni2.

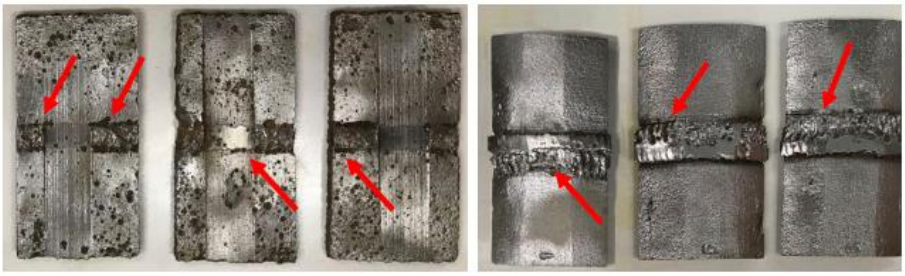
CHAPA			
CP	**A**	**W**	**TC**
01	110,0 cm²	20,870 g	5,70 mm/ano
02	110,0 cm²	19,545 g	5,34 mm/ano
03	110,0 cm²	16,006 g	4,37 mm/ano
04	110,0 cm²	21,928 g	5,99 mm/ano
05	110,0 cm²	20,416 g	5,58 mm/ano
06	110,0 cm²	22,621 g	6,18 mm/ano

TUBO			
CP	**A**	**W**	**TC**
01	133,4 cm²	11 121,819 g	27,43 mm/ano
02	133,4 cm²	109,045 g	24,56 mm/ano
03	133,4 cm²	124,344 g	28,00 mm/ano
04	133,4 cm²	12 115,635 g	26,04 mm/ano
05	133,4 cm²	121,643 g	27,40 mm/ano
06	133,4 cm²	120,227 g	27,08 mm/ano

Copyright © 2018 ISESC



CPs soldados com consumível ER 70S-3 (similar ao metal base)



CPs soldados com consumível ER 80S-Ni2 (dissimilar ao metal base)

Figura 9. Aspecto dos CPs após ensaios de corrosão acelerada soldados com consumíveis similares e dissimilares ao metal base: amostras de chapa (esquerda) e tubo (direita).

Os resultados obtidos das diferenças das rugosidades antes e após o teste de corrosão acelerada nos CPs analisados estão contidos na Tabela 5.

Com os resultados obtidos no ensaio de tração, foi possível gerar gráficos que demonstram as zonas elástica e plástica dos CPs. Foram realizados dois ensaios para cada situação, resultando em quatro gráficos para juntas soldadas com ER 70S-3 e quatro gráficos para os soldados com o ER 80S-Ni2, igualmente antes e após o ensaio de corrosão acelerada, conforme descrito na Tabela 2.

Devido à presença do elemento níquel, os CPs soldados com o consumível ER 80S-Ni2 apresentaram uma transição elástico-plástica, região do escoamento, menos acentuado e uma maior resistência do material, tanto para chapa quanto para tubo.

O ensaio de corrosão acelerada alterou o comportamento mecânico dos materiais, devido à presença dos produtos de corrosão, que se manifestam em forma de imperfeições superficiais como porosidades, trincas, etc. Como o material deixa de ser homogêneo, a deformação do mesmo passa a ser inconstante perdendo a sua ductilidade e tendo um escoamento constante, sujeito a deformações plásticas e elásticas simultaneamente, por isso não é possível observar a transição entre estas regiões, no gráfico

Tabela 5. Resultados Diferença entre a média das rugosidades antes e após os ensaios de corrosão acelerada nos materiais analisados neste trabalho.

Tipo de Consumível	MB		ZTA		MS		Média	
	Tubo	Chapa	Tubo	Chapa	Tubo	Chapa	Tubo	Chapa
ER 70S-3	5,45	0,42	4,83	1,87	5,52	7,61	5,27	3,30
ER 80S-Ni2	4,05	1,38	3,32	2,44	-0,30	-0,44	2,36	1,13

* Valores obtidos em μm

Copyright © 2018 ISESC

gerado pelo ensaio.

Outra característica a ser observada é a perda de tenacidade dos materiais, associada à área inferior do gráfico devido ao processo corrosivo.

As juntas obtidas similares, obtidas com o consumível ER 70S-3, tiveram características de ruptura semelhantes aos anteriores à corrosão com exceção de apenas um CP que rompeu abruptamente devido a formação de uma trinca por hidrogênio proveniente da exposição à solução de ácido sulfúrico. Para juntas similares após o processo de corrosão, foram obtidas três curvas válidas, das quais uma cai abruptamente, e uma curva desconsiderada (devido a um problema no ensaio).

Para as juntas dissimilares, obtidas com o consumível ER 80S-Ni2, das quatro curvas obtidas, duas caem de maneira abrupta, ou seja, estes CPs tendem a romperem-se mais rapidamente, o que indica um grau de concentração de tensão mais severo.

Apesar de a corrosão alterar o comportamento mecânico de forma semelhante para as juntas similares e dissimilares, os CPs soldados com consumível ligado ao níquel (ER 80S-Ni2) apresentaram canais de corrosão, mostrados na Figura 9, onde estes atuam como concentradores de tensão, levando à intensificação de um estado triplo de tensão, causando rompimento abruto na ZTA e com fratura com caracteristicamente não linear. Estes detalhes poderão ser observados com clareza na Figura 10.

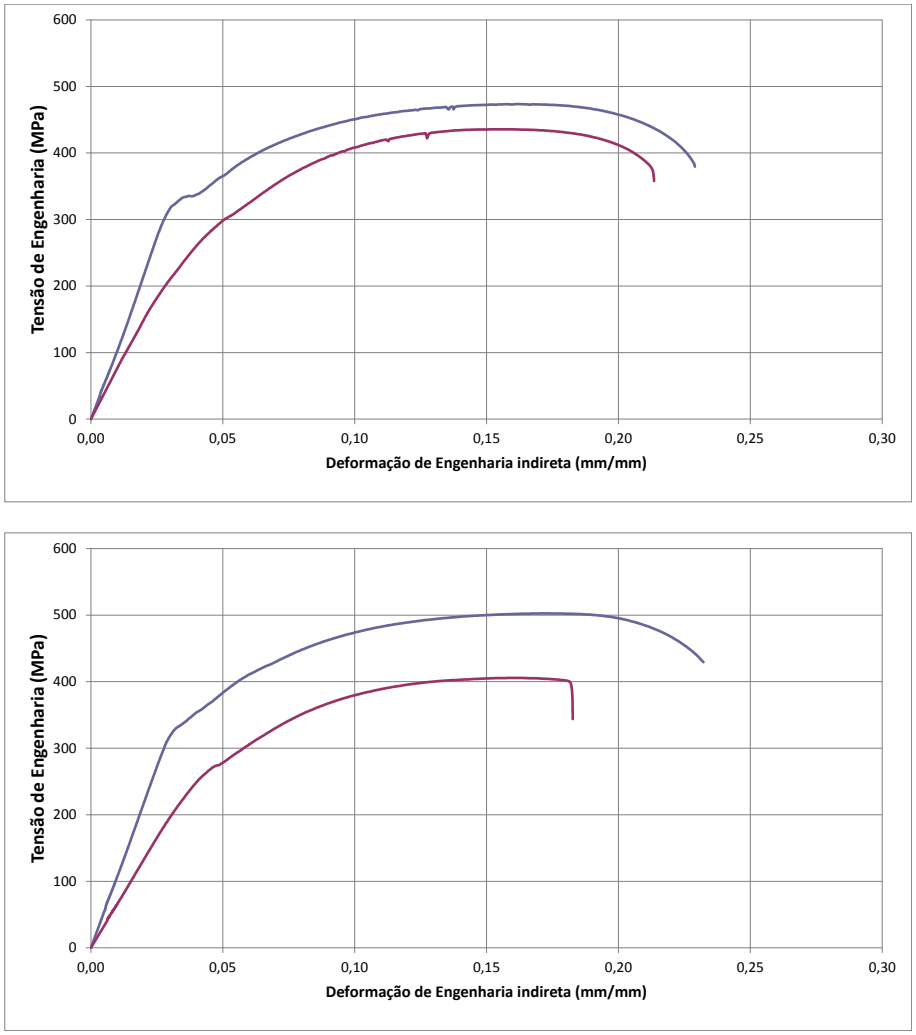


Figura 10. Gráficos tensão × deformação em CPs de tubos soldados antes e após ensaios os de corrosão acelerada: com consumível ER 70S-3 (esquerda); com consumível ER 80S-Ni3 (direita).

Copyright © 2018 ISESC

4. Conclusões

Com o intuito de analisar o diferente desempenho de juntas similares, obtidas com o consumível ER 70S-3, e dissimilares, com o consumível ER 80S-Ni3, foram utilizados métodos qualitativos e quantitativos para compreender o comportamento do processo de corrosão decorrente da aplicação de consumíveis distintos no processo de soldagem através de ensaios de tração, metalografia, perda de massa e rugosidade. Analisando de forma quantitativa, os materiais apresentaram resultados semelhantes em algumas técnicas, especialmente em termos de taxa de corrosão, ao contrário das análises qualitativas e de algumas quantitativas que evidenciaram um comportamento distinto, especialmente em termos de análise visual, verificados pela realização de experimentos de laboratório cuidadosamente planejados que reproduziram de forma mais fiel possível às condições de serviço. A maior perda de espessura na zona de ligação das soldas dos corpos de prova com deposição da vareta ER 80S-Ni2 devido a formação de pilha galvânica, com formação de valetas estreitas e profundidade suficiente para gerar pontos de concentração de tensões.

Em relação ao comportamento mecânico, como a corrosão superficial foi notoriamente diferente, levando ao material soldado com o consumível ligado ao níquel uma maior concentração de imperfeições, faz este conjunto ter uma maior perda no seu desempenho mecânico. Os resultados dos ensaios de tração comprovam tal questão. Assim sendo, este estudo evidencia que os materiais soldados com o consumível ER 70S-3 tiveram comportamento mecânico similar aos soldados com o ER 80S-Ni2, entretanto a resistência a corrosão das juntas similares obteve melhor desempenho associado a não formação de pilha galvânica.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer o apoio da empresa INSPE///BRAS® no fornecimento dos consumíveis de solda, dos equipamentos e da mão de obra para a execução das juntas soldadas analisadas neste trabalho.

Referências

1 GENTIL, V. Corrosão. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

2 REY, A. R.; VIEIRA JUNIOR, M. A. G.; SAMPAIO, G. G.; SOUZA, L. P.; MORAIS, W. A. Análise do Desempenho de uma Junta Soldada para Tubulações de uma Plataforma Marítima. In: XIII SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CIÊNCIAS INTEGRADAS DA UNAERP CAMPUS GUARUJÁ, 2016, Guarujá. Anais do XIII SICI. Ribeirão Preto: UNAERP, 2016.

3 CARVALHO, N. F. D. Influência do Passe de Revenimento na Resistência à Corrosão ácida em aços de baixa liga. Dissertação de Mestrado. Universidade Santa Cecília. Santos, p. 92. 2015.

4 NACE STANDARD RP0775. Preparation, Installation, Analysis, and Interpretation of Corrosion Coupons in Oilfield Operations. [S.l.]: [s.n.], 2005

5 ASTM Standard G1, 2011, "Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens", ASTM International, West Conshohocken, PA, DOI: 10.1520/G0001-03R11.

6 FONTANA, M. G.; GREENE, N. D. Corrosion Engineering. 2. ed. New York: McGraw-Hill, v. 27, 1978. 26 p.

Copyright © 2018 ISESC