INTERCORR2008_276

Copyright 2008, ABRACO
Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2008, em Recife/PE, no mês de maio de 2008.
As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

SOLDAGEM DO AÇO HIPER-DUPLEX SAF 2707 HD®

Carlos Faggiani[1], Peter Stenvall [2]

Abstract

The new hiper duplex SAF 2707 HD® (UNS 32707) grade has been developed to extend the application range of the austenitic ferritic alloys into more agressive conditions. Since most applications for this grade contain welded joints the welding consumable 27.9.5.L has been developed particularly for SAF 2707 HD® (UNS 32707).
Properties of weldements are many times critical since welds mostly are inferior to base metals regarding e.g. localized corrosion, stress corrosion cracking, ductility and impact strenght. Hence, various weldments in SAF 2707 HD® (UNS 32707) have been tested . GTAW (Gas Tunsgen Arc Welding) and SAW (Submerged Arc Welding) were the welding process choices. These are the most common welding process for Heat Exchanger fabrication in chenical and petrochemical industries.

Resumo

O novo aço inoxidável hiper-duplex SAF 2707 HD® (UNS 32707) foi desenvolvido para aumentar o campo de aplicações dos aços austeno ferríticos em ambientes mais agressivos. Como a maioria das aplicações desses aços envolvem estruturas soldadas, um consumível denominado 27.9.5.L foi desenvolvido para a soldagem desse aço.
As propriedades das juntas soldadas são críticas uma vez que as soldas possuem propriedades inferiores aos metais de base correspondentes como corrosão localizada, corrosão sob tensão, ductilidade e impacto. Assim, vários corpos de prova foram testados e seus valores documentados. Os processos TIG (Tungstênio Inerte Gás) e Arco Submerso foram os processos de soldagem utilizados. Esses processos são os normalmente selecionados para a construção de trocadores de calor para as indústrias químicas e petroquímicas.

Palavras-chave: Corrosão, soldagem, SAF 2707HD

[1] Inspetor de Soldagem, Engenheiro Químico – SANDVIK DO BRASIL SA
[2] Pesquisador Senior, Engenheiro de Materiais – AB SANDVIK MATERIALS TECHNOLOGY, SWEDEN

1- Introdução

Desde a introdução dos aços super duplex do tipo UNS S3750 e S32760 no início dos anos 90 nos deparamos com uma crescente aplicação nas indústrias de óleo e gás, química e petroquímica, entre outras [1,3]. A combinação de elevada resistência mecânica, excelente resistência à corrosão e boa soldabilidade tem tornado a aplicação desses aços muito comum.. O aumento de custos do elemento de liga níquel é hoje um fator adicional à favor das aplicações dos aços inoxidáveis duplex invés das ligas austeníticas com similar resistência à corrosão.

Apesar do grande número de aplicações das ligas inoxidáveis superduplex há algumas aplicações onde sua resistência à corrosão é inadequada. Nesse caso, um material de maior resistência à corrosão é necessário. Em alguns casos materiais com custo mais elevado são utilizados, como as ligas de níquel. Em outros casos os aços inoxidáveis superduplex são utilizados com um tempo de vida menor. Assim, muitos usuários finais têm desejado uma nova liga de aço inoxidável duplex com resistência à corrosão maior.

Para atender a essa demanda, um novo aço hiper duplex SAF 2707HD® foi desenvolvido [4-6]. Essa liga aumenta a resistência à corrosão em ambiente que contém cloretos assim como em muitos meios ácidos. Além disso, o SAF 2707HD® também confere uma maior resistência mecânica em relação aos aços inoxidádeis superduplex.

A soldagem em muitas aplicações é crucial para o sucesso de uma nova liga metálica. Um pré-requisito para esse sucesso é utilizar um bom consumível de soldagem. Em paralelo com o desenvolvimento do SAF 2707HD® um consumível compatível com essa liga foi desenvolvido – 27.9.5.L [7,8].

A soldagem TIG foi utilizada para a união e as propriedades das juntas soldadas foram documentadas posteriormente. Como a soldagem de revestimento também é objeto de interesse, tanto o processo TIG como Arco Submerso foram utilizados para os testes.

2- Materiais

Para a soldagem dos tubos o material SAF 2707HD® (UNS 32707) foi utilizado. O consumível foi o 27.9.5.L. Para a soldagem de revestimento com o 27.9.5.L, o metal de base utilizado foi o S355J2G3.

As composições químicas nominal dos metais de base e dos consumíveis estão listados na tabela 1.

Produto	Nome	C%	Mn%	Cr%	Ni%	Mo%	N%	Outros%
Tubo	SAF2707	<0,03	1	27	6,5	4,8	0,4	Co:1
Consumível	27.9.5.L	<0,03	0,8	27	9	4,6	0,3	Co:1
Chapa	SAF2507	<0,03	<1,2	25	7	4	0,3	-
Chapa	S335J2G3	0,15	1,5	-	-	-	-	-

Tabela 1 – Composição química nominal do SAF 2707 HD® , do consumível 27.9.5.L e de outros materiais utilizados nesse trabalho

3- Procedimentos experimentais

3.1 - Soldagem de união

Para a soldagem de união com o processo TIG, foram utilizados os seguintes tubos:

1) 25,4x1,65mm (16 BWG)
2) 42,1x2,0mm
3) 168 x7,1mm (6” sch 40S)

Os tubos 1 e 3 foram soldados com TIG manual com Ar-2%N_2 como gás de proteção e N_2 puro como gás de purga. O consumível 27.9.5.L de 1,6mm de diâmetro foi utilizado. O tubo 2 foi soldado utilizando TIG orbital com os mesmos gases de proteção e purga. Nesse caso, o 27.9.5.L de diâmetro 0,8mm foi utilizado.As soldas foram realizadas conforme

descritas na tabela 2, com a energia de soldagem (E.S.) menor que 1,0 kJ/mm. Todas as soldas foram escovadas subsequentemente à soldagem. As soldas não foram decapadas após a soldagem.

Solda Nº.	Diâm .tubo (mm)	Tipo de junta	Nº. de passes	E.S. (kJ/mm)
B1	25,4x1,65	Quadrada	1	0,4
B2	42,1x2,0	"V"simples	2	0,3 e 0,4
B3	168x7,1	"U"simples	12	0,4-0,9

Tabela 2 – Condições de soldagem para as juntas de união de tubos

As soldas foram testadas da seguinte forma:

a) Ensaio de tração longitudinal a temperatura ambiente conforme EN10002-1 utilizando uma amostra com sua espessura total x 10mm de largura. Os reforços de soldagem foram retirados à mesma altura do metal de bases nas amostras B1 e B3.
b) Os testes de dobramento foram conduzidos conforme ASME IX (dobramento de face e raíz). Esse teste não foi realizado para a amostra B2.
c) Determinação da temperatura crítica de pite (TCP) foi realizada conforme o método ASTM G48-03 prática E modificado (foram utilizados sempre as mesmas amostras para todas as temperaturas ao invés de novas amostras para cada temperatura conforme declarado na ASTM G48-03 prática E). Duas amostras foram utilizadas. Os incrementos de temperatura foram de 2,5ºC e o teste iniciou a 40 ºC. Antes do teste, as amostras foram apenas desengraxadas e não decapadas.
d) Análise micrográfica, incluindo medição do teor de ferrita utilizando o método linear.
e) Ensaio de corrosão sob tensão na amostra B3: Avaliação da corrosão sob tensão em ambientes de cloretos foi realizado com uma solução de NaCl conforme a ASTM G123 utilizando amostras dobradas em "U" conforme a ASTM G30. Quatro peças foram utilizados. As soldas foram posicionadas ao centro da amostra dobrada em "U" e transversal ao dobramento.

3.2 - Soldagem de revestimento

Dois revestimentos foram feitos: um no processo TIG e outro no processo Arco Submerso, ambos com o consumível 27.9.5.L. Para o TIG, o gás Ar+2%N_2 foi utilizado como proteção. Para o Arco Submerso, o fluxo básico 15W foi utilizado, que é o fluxo normalmente indicado para a soldagem de ligas inoxidáveis duplex..

Quanto ao número de camadas, no processo TIG foram 5 e no Arco Submerso 3. Como metal de base foi utilzado a chapa S355J2G3 de 50mm de espessura. Os consumíveis foram a vareta de 1,6mm para o TIG e o arame de 2,4mm para o Arco Submerso.

Os revestimentos foram avaliados da seguinte forma:

a) Dobramento lateral conforme ASME IX utilizando 4 amostras por soldagem..
b) Determinação da temperatura crítica de pite (TCP) foi realizada conforme o método ASTM G48-03 prática E modificado conforme descrito acima. Duas amostras foram utilizadas. Os incrementos de temperatura foram de 2,5 ^{o}C e o teste iniciou a 40 ^{o}C. As amostras foram retiradas da camada superior do revestimento. A superfície das amostras foram lixadas com abrasivo grana 120.
c) Análise micrográfica, incluindo medição do teor de ferrita da camada revestida utilizando o método linear.

3.3 - Soldagem Tubo-espelho

A soldagem tubo-espelho foi realizada de duas formas: utilizando chapa maciça de SAF 2507 de 25,0mm de espessura e a chapa de S355J2G3 revestida com o 27.9.5.L conforme descrita no item 3.2 acima. Os tubos utilizados foram SAF2707 diâmetro 25,4mm x 1,65mm de espessura.

Os parâmetros de soldagem são listados na tabela 3. Para a soldagem na chapa maciça, o tubo foi posiocionado na mesma linha da superfície da chapa, que foi escareada., conforme

a figura 1. Essa preparação foi escolhida em virtude da facilidade de realização dos ensaios de corrosão onde é possível usinar a ligação entre o tubo e o espelho.

Solda N°.	Espelho	Tipo de junta	N°. de passes	E.S. (kJ/mm)
T1	Chapa SAF2507 Esp= 25mm	Ver figura 1	1	0,73
T2	S355J2G3 revestida com 27.9.5.L	Ver figura 2	2	Passe 1: 0,78 Passe 2: 0,83

Tabela 3 – Condições de soldagem das juntas tubo-espelho

Para a soldagem na chapa revestida, o tubo foi posicionado internamente ao revestimento, conforme demonstrado na figura 2. Para essa preparação de junta, são necessários 2 passes, que foram realizados com TIG 27.9.5.L 1,60mm, gás de proteção Ar+3%N2 e energia de soldagem (E.S.) inferior a 1,0 kJ/mm.

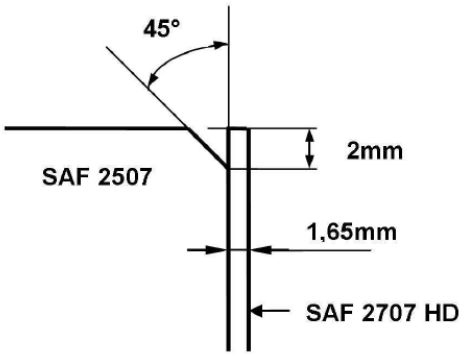

Figura 1 – Geometria de junta para a soldagem com a chapa maciça SAF2507

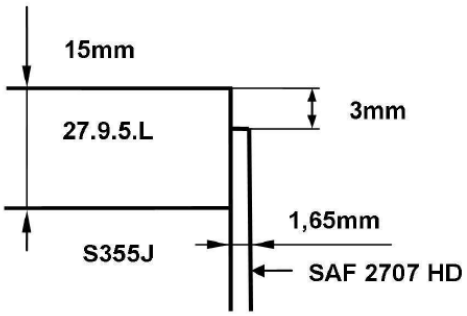

Figura 2 – Geometria de junta para a soldagem com a chapa revestida com 27.9.5.L

As soldas de tubo-espelho foram testadas da seguinte forma:

a) Determinação da temperatura crítica de pite (TCP) foi realizada conforme o método ASTM G48-03 prática E modificado conforme descrito acima. Duas amostras foram utilizadas. Os incrementos de temperatura foram de 2,5 °C e o teste iniciou a 40 °C. As amostras foram usinadas e lixadas até o aprarecimento do tubo+solda. As

superícies do lado posterior foram lixadas com abrasivo grana 12. As superfícies superiores foram escovadas manualmente com uma escova de aço inoxidável. As amostras não foram decapadas antes do teste.

b) Análise micrográfica, incluindo medição do teor de ferrita da camada revestida utilizando o método linear para o revestimento com TIG. Para o revestimento com Arco Submerso, a ferríta foi medida na segunda camada.

4-Resultados e Discussão

4.1 - Ensaios mecânicos

Os ensaios foram executados conforme o código ASME IX à temperatura ambiente. Consituiu-se nos ensaios de tração e dobramento à 180º. Os resultados são demonstrados na tabela 4.

Amostra	Resistência à Tração		Dobramento	
	MPa	Local Ruptura	Tipo	Resultado
Tubo 25,4x1,65mm Amostras 1 e 2	967	Solda	Face e raíz	Aprovado
Tubo 42,1x2,0mm	1003	Metal base	Face e Raíz	Aprovado
Tubo 168x7,10mm Amostras 1 e 2	910	Metal base	Face e Raíz	Aprovado
Revestimento TIG	NA	NA	Lateral	Aprovado
Revestimento Arco Sub.	NA	NA	Lateral	Aprovado

Tabela 4 – Resultados dos ensaios mecânicos das amostras soldadas

Os resultados de resistência à tração foram aprovados, pois os valores estão acima da RT mínima do metal de base de 890MPa.

4.2 – Ensaios de corrosão e metalografia

4.2.1 – Tubo 25,4x1,65mm

O TCP encontrada foi de 67,5 ^{o}C. Esse valor é maior que o valor tipicamente encotrado para o SAF2507 que é 50 ^{o}C de média. Os resultados estão listados na tabela 5.

Amostra N^{o}.	Temperatura (^{o}C)	Local de ataque	TCP (^{o}C)
1	67,5	Solda, face e raíz	67,5
2	70	Solda, face e raíz	

Tabela 5 – Resultados de TCP para a junta de topo do tubo 25,4x1,65mm

Os teores de ferrita medidos nas soldas das amostras pelo método linear estão listados na tabela 6. Os valores de ferrita estão conforme os limites especificados nas normas, de 30-70% de ferrita (ex. Norsok M-601, NACE MR0175).

Local de verificação	Teor de ferrita, %
Face	60
Centro	54
Raíz	53

Tabela 6- Teores médios de ferrita do metal de solda na junta de topo do tubo 25,4x1,65mm

As microestruturas no metal de solda e na zona termicamente afetada (ZTA) são mostradas nas figuras 3 e 4.

Figura 3- Microestrutura do centro da solda. Tubo 25,4x1,65mm. Aumento: 150X. Reagente: ácido Oxálico.

Figura 4 – Microestrutura da ZTA e da linha de fusão .Tubo 25,4x1,65mm. Aumento: 150X Reagente: ácido Oxálico

A morfologia e o balanceamento de fases são típicos para soldas de único passe em aços inoxidáveis duplex. Tanto no metal de solda como na ZTA, não há precipitados ou fases intermetálicas visíveis

4.2.2 – Tubo 42,1x2,0mm

A TCP para a solda orbital realizada nesse tubo foi de 67,5 ^{o}C, resultados demonstrados na tabela 7. Os resultados foram similares aos encontrados na solda de passe único do tubo 25,4x1,65mm.

Amostra N^{o}.	Temperatura (^{o}C)	Local de ataque	TCP (^{o}C)
1	67,5	Solda, face e raíz	67,5
2	70	Solda, face e raíz	

Tabela 7 – Resultados de TCP para a junta de topo do tubo 42,1x2,0mm

O teor de ferrita medido no centro da solda foi medido pelo método de análise linear, é apresentado na tabela 8.

Local de verificação	Teor de ferrita, %
Centro	58

Tabela 8- Teor de ferrita do metal de solda na junta de topo do tubo 42,1x2,0mm

Não foi realizado micrografia para este caso.

4.2.3 – Tubo 168x7,1mm

A TCP encotrada foi de 60 ^{o}C, conforme a tabela 9. Esse valor foi menor que os valores encotrados nas soldas dos tubos de paredes menores conforme relatados anteriormente, porém segue aceitável, pois seguem superiores aos valores encotrados normalmente para o SAF2507. Com a melhoria do procedimento de soldagem pensamos que seja possível melhorar os resultados.

Amostra Nº.	Temperatura (ºC)	Local de ataque	TCP (ºC)
1	62,5	Solda, face	60
2	60	Solda, na face Linha de fusão,raíz	

Tabela 9 – Resultados de TCP para a junta de topo do tubo 168x7,1mm

As microestruturas do metal de solda e da ZTA são mostradas nas figuras 5 e 6.

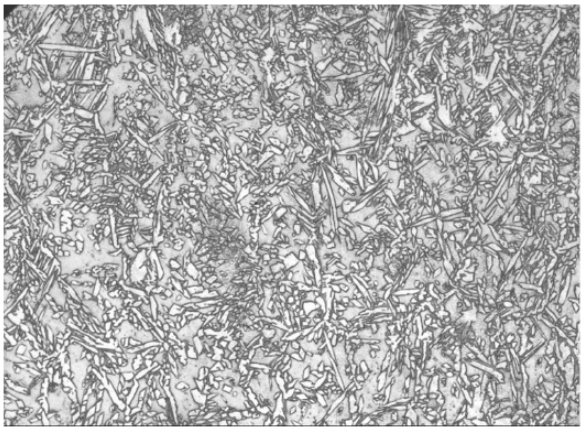

Figura 5 – Microestrutura do centro do metal de solda no tubo 168x7,1mm. Aumento: 150X. Reagente: ácido Oxálico.

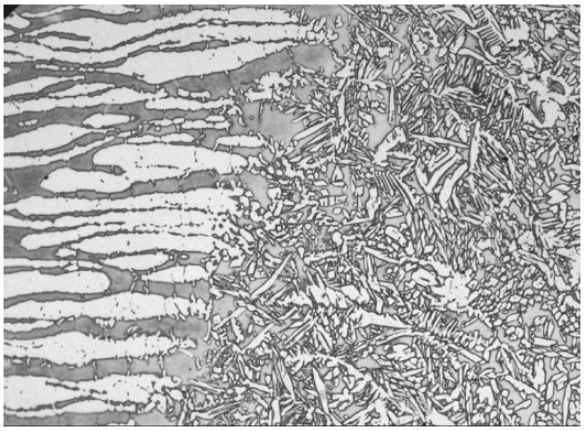

Figura 6 – Microestrutura da ZTA e linha de fusão da solda do tubo 168x7,1mm. Aumento: 150X. Reagente: ácido Oxálico

As estruturas são típicas para a soldagem multipasses em aços inoxidáveis duplex. Tanto na ZTA como no metal de solda, não há precipitados ou fases intermetálicas visíveis.
Para esse tubo, foram conduzidos ensaios de corrosão sob tensão conforme ASTM G123 com a utilização de corpos-de-prova dobrados em U conforme ASTM G30. Após 1008h de teste, não foram detectadas trincas em qualquer das 4 amostras utilizadas.

4.2.4 – Soldagem de revestimento

A espessura do revestimento em TIG soldado em 5 camadas, foi de 8mm. Para o revestimento em Arco Submerso soldado em 3 camadas, a espessura foi de 15mm. Em ambos os casos, obteve-se uma composição química próxima à composição do consumível de soldagem na última camada do revestimento.

A TCP encontrada foi considerada ótima, especialmente para o revestimento em Arco Submerso. Veja a tabela 10. A resistência à corrosão do revestimento em TIG demonstra que para atingir bons resultados são necessárias mais de 5 camadas. Por outro lado a amostra retirada foi desde a face do revestimento até a linha à 3mm acima do aço carbono, obtendo uma amostra de espessura de 4mm. A amostra obtida será constituída por um material com elevada diluição e consequentemente baixa resistência à corrosão. Caso a amostra fosse constituída somente pela última camada de solda, o valor de resistência à corrosão seria maior.

Revestimento	Proc. Soldagem	Amostra Nº.	Temperatura (ºC)	TCP (ºC)
Revest. 1	TIG	1	62,5	62,5
		2	65	
Revest. 2	SAW	1	75	72,5
		2	72,5	

Tabela 10 – Resultados de TCP para os revestimentos soldados em TIG e Arco Submerso

Os teores de ferrita obtidos estão apresentados na tabela 11. Em todos os casos, atendem ao intervalo de 30-70% de ferrita especificado nas normas internacionais (Norsok e NACE).
As microestruturas apresentadas nas figuras 7 e 8 não apresentaram precipitações e fases intermetálicas.

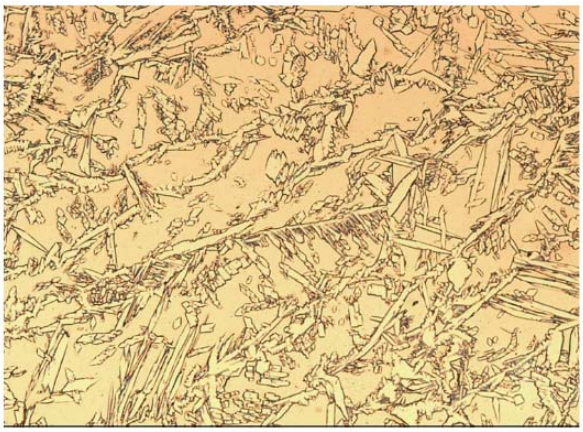

Figura 7- Microstrutura na última camada do revestimento em TIG. Aumento 150X, ataque ácido oxálico

Figura 8 – Microstrutura na última camada do revestimento em Arco Submerso Aumento 150X, ataque ácido oxálico

Revestimento Nº.	Localização	% Ferrita
Revestimento 1 TIG	Camada 5	53
Revestimento 2 A.S.	Camada 3	60

Tabela 11 – Teor de ferrita na última camada dos revestimentos

Os resultados obtidos apontam que se podem obter revestimentos com elevada TCP pela utilização do processo Arco Submerso. Esse processo normalmente é mais produtivo que o TIG, fazendo o Arco Submerso o processo de soldagem preferido para soldas de revestimento.

4.2.5 – Soldagem tubo-espelho

A determinação da TCP resultou em observações muito interessantes. Veja a tabela 12. A TCP foi muito mais elevada para o tubo-espelho 2 (revestimento em 27.9.5.L). Os ataques localizados no tubo-espelho 1, solda em chapa maciça de SAF2507, foram na ZTA do lado do SAF2507. A solda realizada com o consumível 27.9.5.L não foi atacado. Assim, nesse caso estudado, a solda tubo-espelho com a chapa revestida em 27.9.5.L apresentou resistência à corrosão superior que conjunto com a chapa em SAF2507.

Solda Nº.	Tubo-espelho	Amostra Nº.	Temperatura (ºC)	Local do ataque	TCP (ºC)
T1	Chapa SAF2507	1	50	Pite no topo da ZTA do lado da chapa	50
		2	50	Pite no topo da ZTA do lado da chapa	
T2	Revestimento 27.9.5.L	1	60	Solda, lado inferior	60
		2	60	ZTA do lado revestimento, no topo	

Tabela 12 – Resultados de TCP para as soldas tubo-espelho

Em ambientes corrosivos como os condensadores de topo em refinarias a corrosão geralmente ocorre dentro dos tubos e não em suas soldas tubo-espelho. Assim, uma resistência à corrosão mais baixa nas soldas tubo-espelho geralmente pode ser aceitável

para essa aplicação. Nesse contexto, os resultados de corrosão localizada apresentados nesse trabalho são considerados aceitáveis para a aplicação.

O teor de ferrita apresentado na tabela 13 está conforme com os requerimentos para as soldas de duplex, 30-70%. O resultado da solda T2 está no limite inferior da faixa. Esse resultado indica que o teor de Nitrogênio no gás de proteção está alto. O mesmo gás também foi utilizado em soldas que resultaram em teores de ferrita superiores a esse. As condições de soldagem têm uma grande influência no teor final de Nitrogênio no metal de solda, e, consequentemente, no teor de ferrita. As influências das condições de soldagem, especialmente o comprimento de arco, no teor final do Nitrogênio na solda foi previamente estudado por Hertzman et al [12]. Na soldagem manual com TIG o comprimento do arco não é constante por razões naturais e esse comprimento pode variar de acordo com a junta soldada.

Solda N^{o}.	Tubo-espelho	Localização	% Ferrita
T1	Chapa SAF2507	Metal de solda	49
T2	Revestimento 27.9.5.L	Metal de solda	33

Tabela 13 – Teor de ferrita nas soldas tubo-espelho

As microestruturas apresentadas nas figuras 9 e 10 mostram que a morfologia da solda T1 é diferente da solda T2.

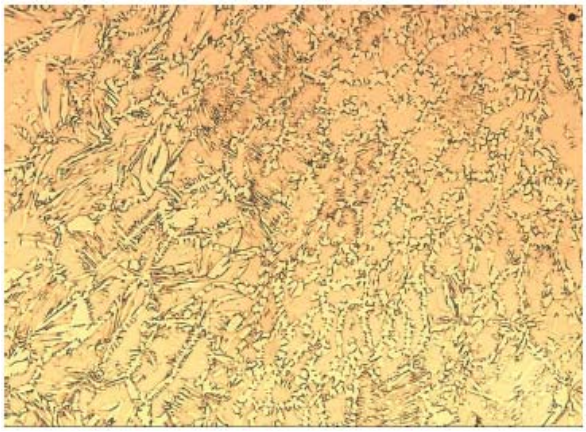

Figura 9 – Microestrutura da solda tubo-espelho T1 (chapa SAF2507). Aumento: 150X. Reagente: ácido oxálico

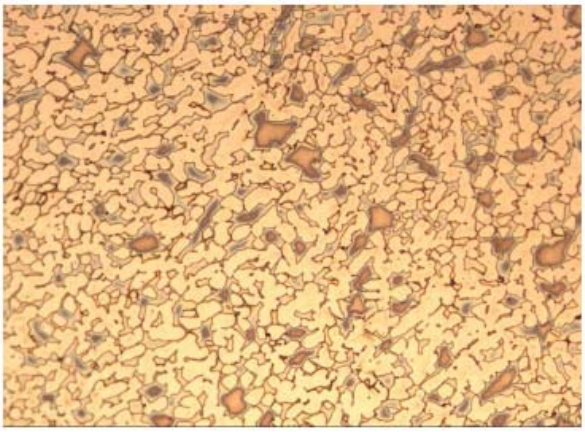

Figura10 – Microestrutura da solda tubo-espelho T2 (revestimento em 27.9.5.L). Aumento: 150X Reagente: ácido oxálico

A solda T1 apresenta uma morfologia da austenita de Widmanstatten enquanto a microestrutura T2 não tem essa morfologia. Há também alguns pontos escuros nessa solda que sugere que exista algum tipo de precipitado. Mesmo assim, a TCP é mais alta para essa solda.

Entretanto, o aumento do teor de ferrita é benéfico para reduzir o risco de precipitação de fases intermetálicas. Teores elevados de ferrita promovem a formação da austenita de Widmanstatten que também reduz o risco de precipitação de fases intermetálicas uma vez que esses contornos de grãos têm baixa energia.

Esses testes de soldagem tubo-espelho demonstra que soldas com boas propriedades podem ser realizadas nos tubos de SAF2707HD com o consumível 27.9.5.L. Os testes também demonstraram que soldas com boa resistência à corrosão podem ser alcansadas, especialmente com espelhos revestidos com o 27.9.5.L em Arco Submerso.

5- Conclusões

Vários ensaios de soldagem com o SAF2707HD foram realizados até o momento demonstrou que a soldabilidade dessa liga é boa. O consumível 27.9.5.L desenvolvido especialmente para essa liga mostrou boa soldabilidade em juntas de união e em revestimentos.

As soldas de união apresentaram:

- boa ductilidade – aprovado conforme ASME IX
- Boa resistência mecânica – superou os valores mínimos do metal de base SAF2707HD
- Elevada resistência à corrosão localizada
- Quanto menor a espessura do metal de base, maior a resistência à corrosão
- Os teores de ferrita cumprem com os requerimentos das normas mais comuns

As soldas de revestimento apresentaram:

- boa ductilidade – aprovado conforme ASME IX
- Elevada resistência à corrosão localizada no revestimento em TIG
- Resistência à corrosão localizada maior ainda no revestimento em Arco Submerso.
- Os teores de ferrita cumprem com os requerimentos das normas mais comuns

Nas soldas tubo-espelho, os resultados apresentaram:

- Elevada resistência à corrosão localizada, porém com resutado inferior ao alcansado nas juntas de união de tubos.
- Os teores de ferrita cumprem com os requerimentos das normas mais comuns

6- Referências Bibliográficas

[1] Quik, J.M.A.; Geudeke, M. Switch to Duplex Stainless Steel. Chemical Engineering Progess, Vol.90 N°.11, p.49-53. nov 1994.

[2] Lovland, P. Superduplex Stainless Steels: Review of Norwegian Offshore Practice. Annual Offshore Technology Conference 93 p.529-541. 1993.

[3] Leonard, H.; Stoll, F. Application of Super Duplex Steel SAF2507 in the Chemical Industry. Stainless Steel World 97. Vol.9, No.4, p.55-57. 1997.

[4] Gorasson, H.; Nyman, M.L.; Holmquist, M; Gomes, E. Sandvik SAF2707HD – a hyper-duplex stainless steel for severe chloride containing enviroments.. Stainless Steeel World Conference 2006. P6003. Houston, USA, 2006.

[5] Gorasson, H.; Nyman, M.L.; Holmquist, M. Extending Application range of super duplex stainless steels.: Corrosion 2007. Paper No.07189. Nashville, Tennessee, USA, 2007.

[6] Nyman, M.L.; Holmquist, M; Kivisakk, U; Gorasson, K. Performance of Sandvik SAF2707HD (UNS32707) in severe chloride containing enviroments. Duplex 2007. Grado, Italy, 2007.

[7] Stenvall, P.; Holmquist, M..New Hyper Duplex Stainless Steel Welding Material for Improve Weld Performance.: Corrosion 2007. Paper No.07190. Nashville, Tennessee, USA, 2007.

[8] Stenvall, P.; Holmquist, M.. Weld Properties of SAF2707HD.. Duplex 2007. Grado, Italy, 2007.

[9] Fager, S-A. Desing of consumables for the welding super duplex stainless steel. Duplex Stainless Steel 91. p.403. Beaune, France, 1991

[10] Fager, S-A; Odegard, L. Welding of Super Duplex Stainless Steel Sandvik SAF2507 (UNS32750). 3rd. International Offshore and Polar Conference. p.416. Singapore, 1993.

[11] Fager, S-A; Odegard, L. Influence of Different Welding Conditions on Mechanical Properties and Corrosion Resistance of Sandvik SAF250. Applications of Stainless Steels. p.307. Stochholm, Sweden, 1992.

[12] Hertzman, S; Pettersson, R.J.; Blom, R; Kivineva, E.; Eriksson, J. Influence of Shielding Gas Composition and Welding Parameters on the N-content and Corrosion Properties of Welds in N-alloyed Stainless Steel Grades. ISIJ Intl.Vol.36. p.968. Tokyo, Japan, 1996.