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).

Susceptibilidade a Corrosão Intergranular de Juntas Soldadas do Aço AISI 317L

Marlon Corrêa[1], Maurício Ferrapontoff Lemos[2], Raphael Leite[3]

Abstract

This presented work analyzes the as welded stainless steel AISI 317L. The welding process used were TIG – Tungsten Inert Gas – and the rod AWS ER - 317L. The objective is to evaluate the influence of the several welding positions and parameters in the intergranular corrosion resistance of the studied material. The methodology decrypted in ASTM A 262 – 02a$^{\epsilon 3}$ and in the DL-EPR electrochemical method (double loop eletrochemical potenciokinetic reactivation) were used in order to verify the intergranular corrosion susceptibility. This work was motivated on the use of AISI 316L welding procedure for 317L welding process. As conclusions it can be verify that these procedures usually used for 316L can cause harmful consequences with respect to the intergranular corrosion resistance when used for 317L welding. This article also indicate literature evidence that intermetalic fases formation as Sigma and Laves can cause the sentitization phenomenon and so intergranular corrosion in stainless steels.

Resumo

O presente trabalho realizado empregou para as análises o material AISI 317L na condição de soldado, utilizando o processo de soldagem TIG. Foram utilizados para a soldagem consumíveis AWS ER-317L. O trabalho visou avaliar a influência das diversas posições de soldagem e conseqüentemente diferentes parâmetros de soldagem sobre a resistência a corrosão intergranular causada por sensitização do aço inoxidável em estudo. Para a realização da verificação à susceptibilidade a corrosão intergranular foi utilizada a metodologia descrita na norma ASTM A 262 – 02a$^{\epsilon 3}$ e o método eletroquímico DL-EPR *(double loop eletrochemical potenciokinetic reactivation method).* A motivação do trabalho foi a de realizar os procedimentos de soldagem comumente empregados para o aço AISI 316L, na soldagem do AISI 317L. Como conclusão do trabalho mostra-se que procedimentos de soldagem usuais para o aço AISI 316L podem ter sérias conseqüências com respeito à susceptibilidade à corrosão intergranular, quando estes parâmetros de soldagem são aplicados para a execução de soldas do aço AISI 317L. O trabalho ainda indica evidências na literatura de que a formação de fases intermetálicas tais como fase Sigma e fase Laves possam ser as responsáveis pela sensitização do Aço inoxidável e posterior corrosão intergranular

Palavras-chave: corrosão intergranular, sensitização, AISI 317L.

1 Engenheiro Metalúrgico e Aluno de mestrado PPGEM-UFRGS
2 Engenheiro de Materiais e Aluno de mestrado PPGEM-UFRGS
3 Mestre em Ciência e Tecnologia dos Materiais pelo PPGEM-UFRGS

Introdução

A perda de peças metálicas por ação da corrosão tem preocupado engenheiros e metalurgistas que procuram constantemente não só aperfeiçoar ou desenvolver novos métodos de proteção, como também aperfeiçoar ou criar novas ligas que apresentem como característica a resistência à corrosão.

Os aços inoxidáveis Cromo-Níquel (tipo Austeníticos) estão sujeitos, quando tratados termicamente ou aquecidos para trabalho a quente ou ainda na soldagem numa certa faixa de temperaturas, a uma precipitação de constituintes de contorno de grão que podem provocar um dos tipos mais danosos da corrosão, a chamada "Corrosão Intergranular". A faixa de temperatura crítica varia entre 425°C e 815°C (1) (8), e quando o aço é aquecido dentro dessa faixa, ainda que por um tempo muito curto (poucos minutos ou mesmo segundos), pode sofrer uma quase completa desintegração após algumas horas de exposição numa solução corrosiva específica. Desta forma, o objetivo deste trabalho é avaliar a susceptibilidade a sensitização e a corrosão intergranular de juntas soldadas de um aço AISI 317L, utilizando para isto técnicas de laboratório.

A utilização de ensaios de laboratório é uma prática comum para averiguar a integridade do material após a realização de processos de fabricação que envolve aquecimento do material, com vistas a garantir a qualidade dos elementos de construção de máquinas. Por exemplo, a fim de atender os fatores de projeto previamente estabelecidos (1). Desta forma, neste trabalho foram utilizados dois tipos de testes de laboratório. Sendo um o teste descrito na Norma ASTM A 262 – 02a$^{\epsilon 3}$**,** que consiste em um ataque eletrolítico detectando qualitativamente a ocorrência de sensitização pela visualização da microestrutura resultante. Entretanto, existem inconvenientes inerentes a esta técnica. Com isso tem-se utilizado, como alternativa, os métodos eletroquímicos, justificados pela sua rapidez, por não serem destrutivos e também por serem recomendados como ensaios de campo. Sendo assim também foi utilizado o ensaio DL-EPR que fornece resultados quantitativos a respeito do grau de sensitização e posterior susceptibilidade a corrosão intergranular.

Revisão da Literatura

Os aços inoxidáveis caracterizam-se por possuírem um conteúdo de Cromo de no mínimo 12%, com ou sem outros elementos de liga (2). A resistência à corrosão destes materiais é devida a uma fina camada de óxido superficial conhecida como filme passivo que é um filme de óxido invisível formado pela interação do metal com o ambiente. Normalmente estes filmes são livres de poros, mas sua estabilidade pode ser enfraquecida localmente (3).

Aços inoxidáveis Austeníticos são ligas ativo-passivas usadas em várias aplicações industriais. A corrosão localizada (pite, corrosão em fresta, corrosão intergranular e corrosão sob tensão) é o fator que mais contribui para a falha destes aços nos componentes da indústria (4) (5).

Aço inoxidável AISI 317L

Segundo a designação AISI este aço inoxidável deve ter a composição química conforme indicada na Tabela 1(6).

Aplicações típicas para o aço inoxidável AISI 317L

O aço AISI 317 e 317L têm sido apontado como um dos materiais de melhor desempenho em aplicações nas unidades de refino, principalmente devido à presença de Molibdênio em teor suficiente para aumentar a resistência ao ataque dos ácidos naftênicos,

embora na prática, problemas relacionados à corrosão sob-tensão tenham sido relatados (7).

Sensitização

Um aço está sensitizado quando ocorre a precipitação de carbonetos e/ou fases intermetálicas ricas em Cromo nos contornos de grão (2) (11). Este fenômeno ocorre quando esse tipo de aço é aquecido e mantido na faixa de temperatura entre 425º C e 815º C (1) (8).

Os aços inoxidáveis Austeníticos contendo Carbono em teores acima de 0,03% são suscetíveis à corrosão intergranular quando estão sensitizados, o que ocorre preferencialmente através da precipitação de carbonetos. Porém, a exposição do aço inoxidável AISI 316L, de conteúdo de Carbono menor que 0,03%, às elevadas temperaturas por longos períodos de tempo pode levar a precipitação de várias outras fases intermetálicas tais como fase Sigma, Chi e Laves (3) (9). Desta forma, espera se um comportamento semelhante para aços inoxidáveis com maior teor de elementos de liga, como é o caso do aço inoxidável AISI 317L (3) (9). De acordo com SONG (10) muitos estudos tem demonstrado que precipitação de intermetálicos tais como Sigma, Chi e Laves ocorrem para longos tempos de envelhecimento entre 700º e 900º. Todavia, geralmente nestes estudos o conteúdo de molibdênio não ultrapassa os 2,5%. A fase Sigma, quando dispersamente precipitada, pode levar os aços inoxidáveis Austeníticos a exibirem fenômenos de corrosão intergranular e formação de pites, principalmente para aços inoxidáveis de alto Cromo e alto molibdênio, pois são elementos ferritizantes (11). De acordo com MACHADO (12), a Ferrita Delta minimiza a incidência de trincas de solidificação no metal de solda e o aumento de sua resistência mecânica, mas por outro lado diminui sua tenacidade em serviços criogênicos e é indesejável em altas temperaturas (500ºC a 900ºC), pois se transforma na frágil fase Sigma, caso permaneça por tempo suficiente nesse intervalo de temperatura. Este fenômeno deve ser evitado, pois a sensitização dos aços inoxidáveis Austeníticos é atribuída como uma das maiores razões para a falha dos mesmos por corrosão intergranular e corrosão sob-tensão (4).

Fase σ (Sigma)

A fase σ (Sigma) é um intermetálico duro e frágil, que pode ocorrer em aços inoxidáveis Austeníticos geralmente em uma faixa de temperaturas que variam entre 540 ºC e 900ºC (11). Caracteriza-se pela remoção do Cromo e Molibdênio da matriz austenítica (15). Grandes partículas de fase σ não afetam a resistência à corrosão das ligas. Contudo, partículas finamente dispersas desta fase, particularmente em torno dos contornos de grão, reduzem marcadamente a resistência ao ataque pelos ácidos nítrico e sulfúrico em particulares (13). Ainda, a presença de fase Sigma pode aumentar a velocidade de corrosão de um aço inoxidável duplex em até oito vezes (14), o que demonstra o efeito deletério desta fase frente à corrosão.

Testes de avaliação da sensitização

Os testes contidos na norma ASTM A 262 – 02a$^{\epsilon 3}$ tem o objetivo de avaliar a sensitização e susceptibilidade a corrosão intergranular dos aços inoxidáveis austeníticos. Um deles, a prática A baseia-se na utilização de um ataque eletrolítico em ácido Oxálico e estabelece três diferentes estruturas, a saber (16):

- *Step:* existem apenas desníveis entre os grãos.
- *Dual*: há o inicio da precipitação de carbonetos ricos em cromo na região de contorno de grão, mas não é suficiente para circundar completamente os grãos.
- *Ditch*: um ou mais grãos estão completamente circundados, mostrando a existência da sensitização.

Uma técnica rápida de avaliação das condições microestruturais e do grau de sensitização é a Electrochemical Potentiokinetic Reactivation – Double Loop Test (DL-EPR), usada amplamente nos testes de inoxidáveis Austeníticos e Duplex (17). Este teste eletroquímico consiste na aplicação de potenciais elétricos no material em estudo, partindo do potencial de corrosão na solução e ativando-o até haver formação da camada passiva. Então é revertida a aplicação, reativando a superfície do material. A corrente que passa através do material durante a varredura pode ser relacionada com a presença de sensitização no material em questão (18). Ainda conforme a mesma referência, quanto maior for a relação da corrente de reativação com a de ativação, maior o grau de sensitização, pois esta técnica se baseia no fato de que, durante a reativação a camada passiva formada é atacada preferencialmente em regiões sensitizadas. A solução utilizada deve facilitar a ativação e reativação, sendo composta normalmente de 0,5M H_2SO_4 + 0,01M KSCN (18). Porém, pode haver adição de 0,5M NaCl e variação na temperatura do ensaio (17). Desta forma, através da divisão das densidades de corrente máxima I_r (de reativação) por I_a (de ativação), um valor numérico é obtido para análise quantitativa do grau de sensitização. As relações das microestruturas resultantes com esses resultados são divididas em (17) (18) (19):

- <0,001 – microestruturas *step*;
- De 0,001 a 0,05 – microestruturas *dual*;
- >0,05 – microestruturas *ditch*.

Após o teste, são necessárias análises microscópicas da estrutura para conformação dos resultados obtidos numericamente com as microestruturas.

Soldagem

A solda é um tipo de união de materiais, obtida por aquecimento ou não das partes adjacentes até uma temperatura adequada, com ou sem aplicação de pressão e metal de adição. As soldas mais empregadas na indústria de construção são as de energia elétrica. Em geral a fusão do metal é provocada pelo calor gerado por um arco elétrico (20).

Posições de soldagem

Na Figura 1 e Figura 3 estão indicadas as posições de soldagem mais utilizadas para a soldagem com eletrodos. As diferentes posições podem influir sobre os seguintes itens: escolha do processo, dos consumíveis (eletrodo/arame, gás, fluxo), dos parâmetros tais como velocidade de soldagem, corrente de soldagem e tensão, custos, qualidade da junta soldada, etc. A posição de soldagem plana produz os melhores resultados, sendo utilizada preferencialmente nos trabalhos de oficina quando for possível a colocação das peças nas posições adequadas e também em campo, onde também é bastante utilizada a posição vertical. A posição sobrecabeça é a mais difícil de ser executada, sendo seu emprego limitado a casos especiais (20). Na Figura 3, onde detalham-se as posições de soldagem para tubos, pode ser visto que a posição de soldagem 5G e 6G englobam todas as posições utilizadas para chapas em uma única posição.

Materiais e Procedimento Experimental.

Foram analisadas seções soldadas de tubos de aço inoxidável AISI 317L, com o objetivo de caracterizar o material como recebido do fornecedor. As amostras para o ensaio diferenciam-se entre si pelas posições de soldagem (vertical, plana e sobrecabeça). A Tabela 2 indica a composição química do metal de base e a Tabela 3 indica a composição química do material na junta soldada, ambas as análises foram realizadas pelo método de Espectroscopia

de Emissão Óptica. Foram realizadas três medidas no metal de base e três medidas em uma seção soldada do material para então ser formada uma média para a composição química do material.

A retirada das amostras baseou-se na esquema apresentado na Figura 4, onde de cada região apresentada foram retiradas três amostras.

Os procedimentos para cada posição de soldagem estão detalhados na Tabela 5, onde observam-se os parâmetros de soldagem idênticos para todas as posições de soldagem. Os parâmetros que realmente variaram durante o procedimento de soldagem são apresentados na Tabela 4. Cabe ressaltar que estes parâmetros de soldagem são utilizados com êxito para a soldagem industrial do aço AISI 316L.

Para análise metalográfica requerida pela prática A da Norma ASTM A 262 – $02a^{\epsilon 3}$ foram retirados corpos de prova das regiões que englobavam metal de adição, ZAC e metal de base.

Na realização da prática A os corpos de prova foram preparados com lixamento seqüencial em lixas 120, 220, 320, 400, 600 e 1200 seguido de polimento em pasta de diamante de 3 e 1μm de granulometria. Após, foi realizado o ataque eletrolítico em solução de ácido oxálico 10%, ou seja, 100g de $H_2C_2O_4.2H_2O$ em 900ml de água destilada e completada até a marca de 1000ml. O ataque eletrolítico foi realizado em temperatura ambiente, com densidade de corrente de aproximadamente $1A/cm^2$ e por um tempo aproximado de 1 minuto.

Este ataque eletroquímico seguido da análise metalográfica e classificação da microestrutura observada consistem na verificação da ocorrência de sensitização no material segundo determina a Norma ASTM A 262 – $02a^{\epsilon 3}$ prática A.

No ensaio DL-EPR foram utilizados também três corpos de prova para cada condição descrita na Figura 3. Na preparação destes foram lixados igualmente ao procedimento anterior, porém até o grau 600. Foi usado um revestimento polimérico, deixando uma área conhecida de material exposto. A solução utilizada foi de composição 0,5M H_2S0_4+ 0,01M KSCN + 0,5M NaCl aquecida a 50ºC ± 2ºC, desaerada com Nitrogênio durante 5 minutos antes de cada ensaio e também durante, deixando o corpo de prova estabilizar seu potencial de corrosão também durante este tempo. A varredura de potencial foi realizada por um potenciostato desde o potencial de equilíbrio, chegando ao máximo de 100mV ECS a uma taxa de 1,67 mV/s e reativando nos mesmos parâmetros até o potencial de equilíbrio novamente. Foi utilizada para os ensaios uma célula eletroquímica multi-pescoço conforme a Figura 2 onde o eletrodo de referência consistiu-se de um eletrodo de Calomelano Saturado – ECS. Empregou-se também um capilar de Luggin, contendo solução saturada de Cloreto de Potássio (KCl) como ponte salina. O contra eletrodo consistiu em um fio espiralado de Platina.

Resultados e discussões:

A análise química do material tanto na região do metal de base, como na região da junta soldada se apresentou dentro de sua composição teórica como pode ser observado na Tabela 2 e na Tabela 3 em comparação com a Tabela 1.

Os dados obtidos com a realização da prática A da Norma ASTM A 262 – $02a^{\epsilon 3}$ indicam que para todas as posições de soldagem empregadas, o material se apresenta sensitizado, porém não na zona afetada pelo calor como é de se esperar (19), mas propriamente na zona do metal de adição. Em outro trabalho (17) foi observado um comportamento idêntico a este, sendo creditado possivelmente a segregação de constituintes no metal de solda e a conseqüente precipitação de fases intermetálicas, o que foi identificado como sendo a causa do empobrecimento de elementos de liga nestas regiões adjacentes aos precipitados. Pode ser observado a partir da Figura 5 uma micrografia com aumento de 500X, onde fica clara a presença de estruturas *Ditches* indicando a sensitização do metal de solda

para a posição de soldagem Sobrecabeça - SC. A Figura 6 apresenta as três regiões da junta soldada: zona do metal de adição, zona termicamente afetada pelo calor (ZTA) e metal de base, com aumento de 200X. Nesta micrografia claramente se observa a presença de estruturas *Ditches* no metal de solda e na zona parcialmente fundida, que se caracteriza por ser uma região onde pode ocorrer difusão e segregação em contornos de grão (12), causando neste caso, possivelmente, a precipitação de intermetálicos. Porém na ZTA e metal de base a estrutura se apresenta como *steps*, indicando que o material está livre de sensitização nesta região. A Figura 7 e Figura 8 para a posição de soldagem plana e Figura 9 e Figura 10 para a posição de soldagem vertical apresentam as micrografias, onde foi observado comportamento semelhante aos da posição sobrecabeça, indicando metal de adição e zona parcialmente fundida sensitizados, e metal de base e ZTA isentos de sensitização.

No Ensaio DL-EPR observa-se uma clara dependência do índice de sensitização (Ir/Ia) com a energia de soldagem empregada para cada posição de soldagem como pode ser visto na Figura 15. Para o metal de base o qual não sofreu aporte térmico devido a soldagem, pode ser observado na Figura 11 com auxilio da Tabela 6 que o índice de sensitização foi de 0,05. Mas diferentemente do que sugerido pela literatura (17) (18) (19), onde este valor de 0,05 se enquadraria em estruturas *dual*, a estrutura observada ao microscópio não apresentou nenhum processo de sensitização ou corrosão intergranular, como pode ser observado na Figura 16 e também na prática A realizada, que demonstraram a condição de estrutura *step* do metal de base. Esta discrepância entre os valores da literatura e o valor obtido experimentalmente neste trabalho, pode ser creditado a mais alta temperatura empregada na realização deste, pois segundo Hataya (21), estudos indicaram que um aumento de 5ºC na temperatura de teste resultam em um aumento de aproximadamente 2mA/cm^2 na densidade de corrente para um dado nível de sensitização no caso em um ensaio SL-EPR (*simple loop eletrochemical potenciokinetic reactivation method).* Outro fator que possivelmente contribuiu para uma elevação do valor de Ir/Ia para o MB foi a condição superficial que a amostra se encontrava, pois de acordo com Clark (22) aumentos do índice de sensitização ficam evidentes quando a amostra é lixada com lixa de grau 600 ou polida em pasta de diamante. Conforme esse autor, um acabamento mais rugoso pode tornar alguns contornos de grão descontínuos, assim diminuindo sua efetividade durante o teste, indicando menores índices de sensitização. Cabe ressaltar aqui que os valores padronizados para a classificação das estruturas com *step, dual ou ditches* são para amostras lixadas até o grau 100. Desta forma, estes valores sugeridos não são aplicáveis para este material. Os valores dos índices de sensitização para as outras posições de soldagem se apresentam coerentes, pois quanto maior o aporte térmico sofrido pelo material devido as diferentes posições de soldagem, maior o índice de sensitização, como pode ser visualizado através da Figura 12, Figura 13 e Figura 14 com o auxílio da Tabela 6. As microestruturas, tipicamente do tipo *ditch*, destes corpos de prova da solda após o ensaio DL-EPR podem ser observadas Figura 17**,** Figura 19 e Figura 20.

Durante uma análise do diagrama de Schaeffler obtém-se Cromo equivalente de 26,3 e Níquel equivalente de 14,25 o que no traçado do diagrama pode resultar em uma microestrutura susceptível a precipitação de intermetálicos. Como pode ser visto na Figura 18 a estrutura prevista para o metal de solda tem aproximadamente entre 10 e 15% de ferrita delta (11), o que em certas condições pode levar a precipitação de fases intermetálicas (12),

Conclusões:

Pode-se concluir a partir deste trabalho, baseado em dados experimentais e literatura específica sobre o assunto, que para o material AISI 317L nas condições de soldagem e condições experimentais neste trabalho abordadas que:

• As energias de soldagem empregadas não se mostraram elevadas, visto que não foram capazes de sensitizar a ZTA a longas distâncias a partir da zona de ligação da solda. Nota-se que há uma dependência da energia de soldagem com o índice de sensitização, mas não indica ser o único causador da sensitização do material. A composição química do metal de adição é também relevante na soldagem deste aço, sendo que o diagrama de Schaeffler deve ser cuidadosamente analisado e a microestrutura prevista deve se manter afastada da região de precipitação de intermetálicos para evitar sensitização e corrosão intergranular.

• Devido às energias de soldagem empregadas em cada posição de soldagem, a (ZTA) e o metal de base não sofreram transformações metalúrgicas capazes de sensitizar o material. Já em uma região menor que 60μm a partir da zona de ligação da solda, denominada de zona parcialmente fundida, houve possivelmente a precipitação de intermetálicos causando a sensitização.

• Para minimizar o efeito da segregação dos elementos de liga na soldagem do aço AISI 317L, deve ser reduzido ao mínimo possível a energia de soldagem a fim de se aumentar a velocidade de solidificação da frente, visto que os dados experimentais mostram que o índice de sensitização é menor para as menores energias de soldagem.

• A solução eletrolítica e temperatura utilizada para o ensaio DL-EPR se mostraram eficazes para a reativação do material na zona do metal de adição, o que não ocorreu com a solução comumente empregada de 0,5M H_2S0_4+ 0,01M KSCN a temperatura ambiente. A densidade de corrente de reativação observada para o metal de base foi relativamente elevada, pois, conforme a literatura, o aumento da temperatura e o acabamento superficial da amostra durante o ensaio contribuíram para o incremento na densidade de corrente em processos corrosivos.

• A técnica de ensaio DL-EPR *(double loop eletrochemical potenciokinetic reactivation method)* apresenta coerência com a abordagem descrita na Norma ASTM A 262 – 02a$^{\epsilon 3}$ para o aço AISI 317L, realmente indicando a sensitização do metal de adição com a utilização dos parâmetros de ensaio neste trabalho abordadas.

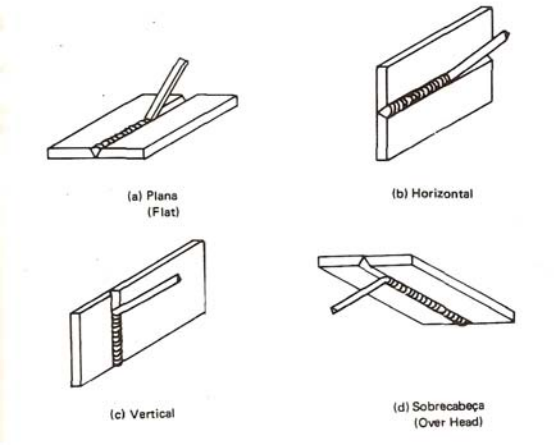


Figura 1- Posições de soldagem para chapas

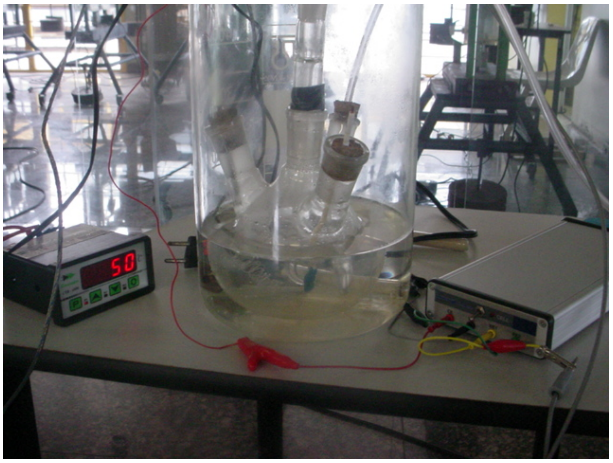


Figura 2-Montagem da célula eletroquímica para o ensaio DL-EPR**.**

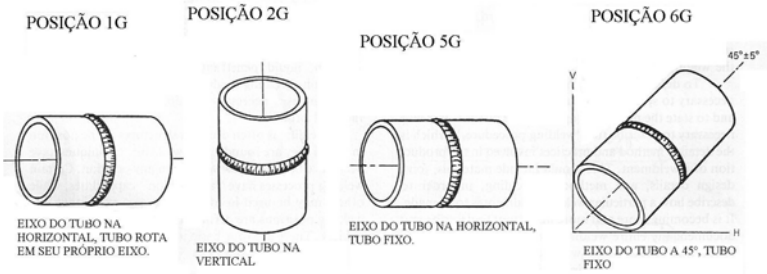


Figura 3- Posições de soldagem para tubos.

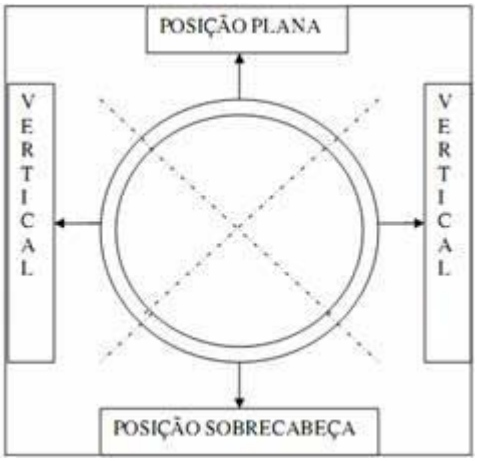


Figura 4- Esquema de retirada das amostras do tubo

Figura 5- Metal de adição sensitizado apresentando estruturas *Ditches*, posição sobrecabeça - Aumento: 500X.

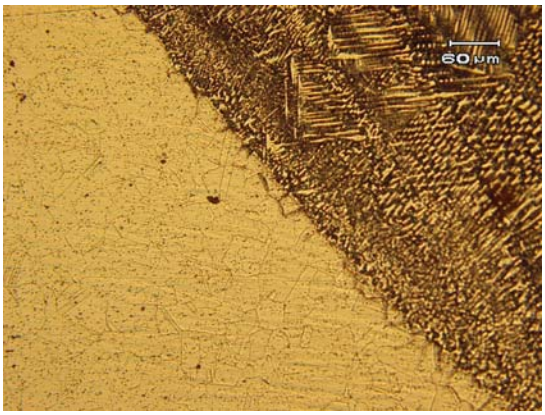


Figura 6- Micrografia sobrecabeça mostrando o metal de base não sensitizado e ZAC e metal de adição sensitizados - Aumento: 200X.

Figura 7- Metal de adição sensitizado apresentando estruturas *Ditches*, posição plana - Aumento: 500X.

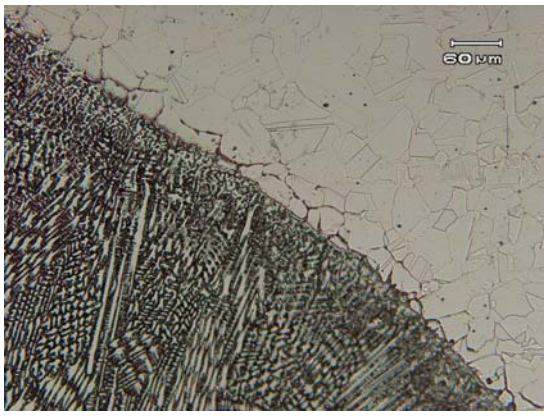


Figura 8- Micrografia mostrando o metal de base não sensitizado e ZAC e metal de adição sensitizados para a posição de soldagem plana - Aumento: 200X.

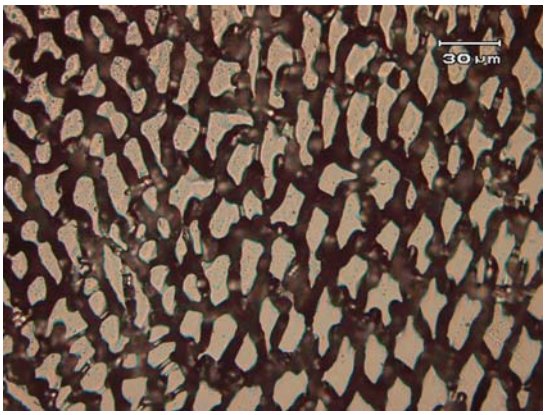


Figura 9- Metal de adição sensitizado apresentando estruturas *Ditches*, posição vertical - Aumento: 500X.

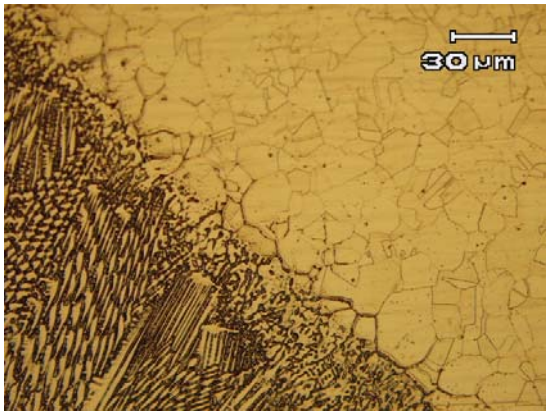


Figura 10- Micrografia mostrando o metal de base não sensitizado e ZAC e metal de adição sensitizados para a posição de soldagem vertical - Aumento: 200X

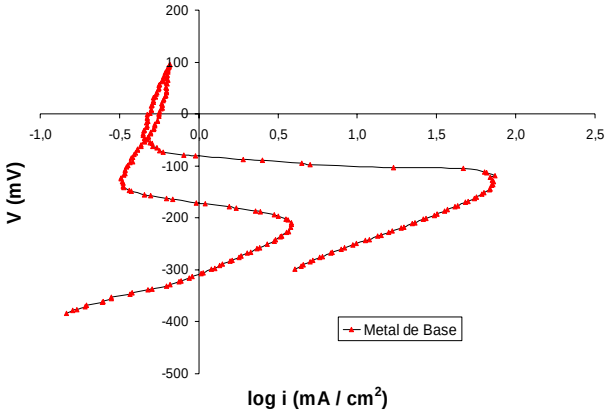


Figura 11- DL-EPR para o metal de base (média de três curvas).

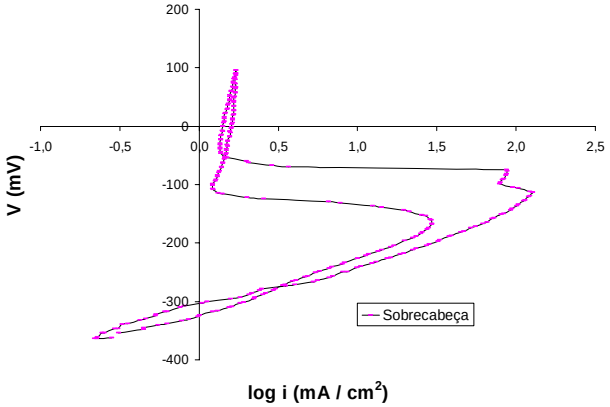


Figura 14- DL-EPR posição sobrecabeça (média de três curvas)

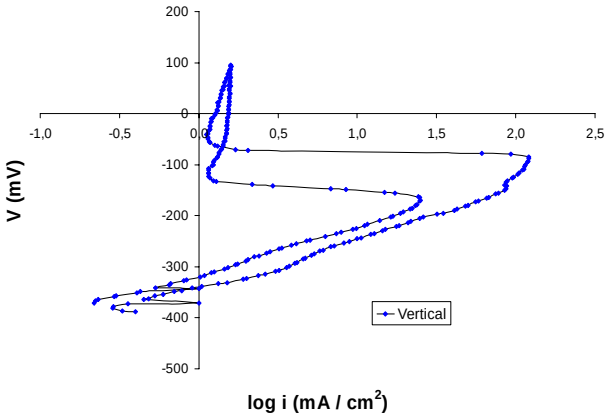


Figura 12- DL-EPR posição de soldagem vertical (média de três curvas).

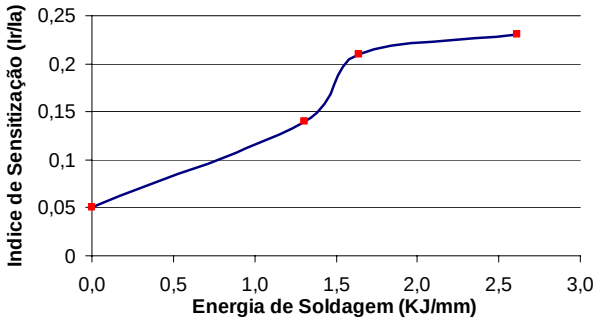


Figura 15- Gráfico apresentando a influência da energia de soldagem com o índice de sensitização.

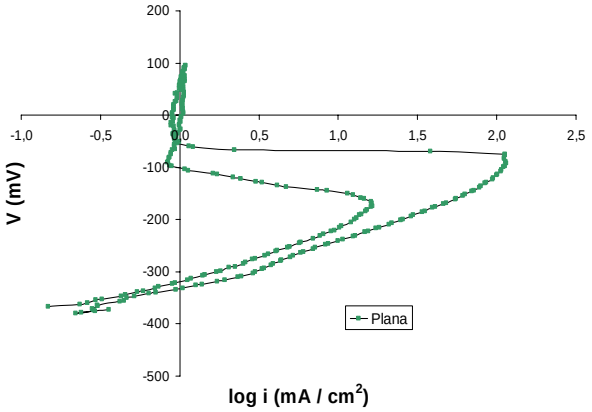


Figura 13- DL-EPR posição de soldagem plana (média de três curvas).

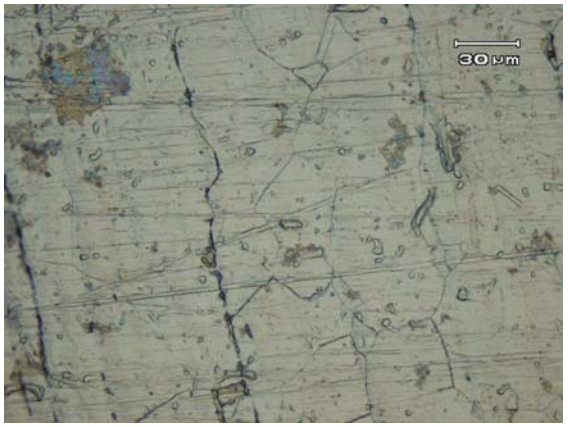


Figura 16- Metal de base após ensaio DL-EPR, demonstrando microestrutura tipo *step* - Aumento: 500X.

Figura 17- Metal de adição da posição PLANA após ensaio DL-EPR, demonstrando microestrutura tipo *ditch* - Aumento: 500X.

Figura 19- Metal de adição da posição SC após ensaio DL-EPR, demonstrando microestrutura tipo *ditch* - Aumento: 500X.

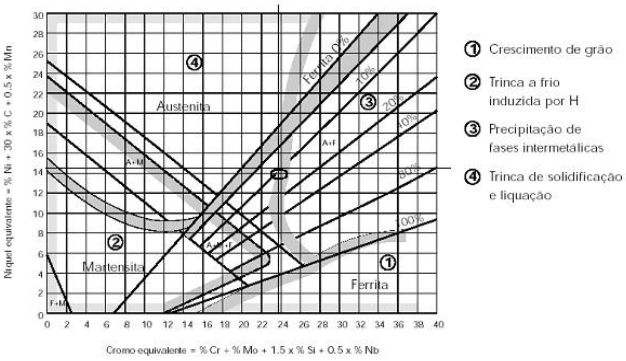


Figura 18 - Diagrama de Schaeffler.

Figura 20- Metal de adição da posição VERTICAL após ensaio DL-EPR, demonstrando microestrutura tipo *ditch* - Aumento: 500X.

Tabela 1- Composição (máx) teórica do aço AISI 317L.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA (% EM MASSA)							
C	**Mn**	**Si**	**P**	**S**	**Cr**	**Ni**	**Mo**
0,030	2,00	1,00	0,045	0,030	18,00 - 20,00	11,00 - 15,00	3,00 - 400

Tabela 2- Composição química metal de base.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA (% EM MASSA)									
C	**Cr**	**Ni**	**Mo**	**Mn**	**Si**	**S**	**P**	**Cu**	**Fe**
0,0157	18,33	11,22	3,153	1,044	0,530	0,0052	0,0430	0,581	Balanço

Tabela 3- Composição química junta Soldada.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA (% EM MASSA)									
C	**Cr**	**Ni**	**Mo**	**Mn**	**Si**	**S**	**P**	**Cu**	**Fe**
0,0173	19,27	13,86	3,505	1,531	0,4089	0,0032	0,0202	0,1487	balanço

Tabela 4- Parâmetros de soldagem das diferentes regiões do tubo.

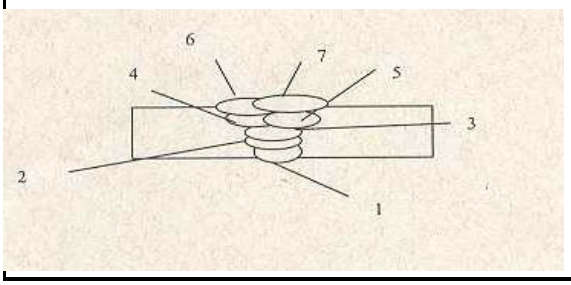
	Corrente (A)	Tensão (V)	Velocidade de soldagem (cm/min)	Energia de soldagem (KJ/mm)
Plana	118	12	6,5	1,3
Vertical	117	14	6,0	1,6
Sobrecabeça	105	17	4,1	2,6

Tabela 5- Procedimento de soldagem, posição 5G.

Norma de qualificação: ASME IX	
Processo 1: TIG	Tipo: MANUAL
Processo 2: TIG	Tipo: MANUAL
Metal de Base:	Material
Especificação	ASTM A312 Tp 317L
Espessura da peça	8,7mm

Peça (amostra)					
Posição	Progressão	Tipo de chanfro	Angulo	Nariz	Abertura de raiz
5G	ASCENDENTE	V	37º	1,6mm	4,0mm

Croqui da junta:



Espessura depositada:	
Processo(1)	8,7mm

Registro de acompanhamento de soldagem:

Passes	Processo	Classe AWS	Diam. (mm)	Oscilação	Caracteristicas elétricas			Vazão de gás		
					Temperatura de interpasses ºC	Corrente	Voltagem	Purga (l/min)	Proteção (l/min)	Velocidade de soldagem
1	TIG	ER-317-L	3,2	*	60ºC MÁX	*	*	20	13	*
2	TIG	ER-317-L	3,2	*	60ºC MÁX	*	*	20	13	*
3	TIG	ER-317-L	3,2	*	60ºC MÁX	*	*	20	13	*
4	TIG	ER-317-L	3,2	*	60ºC MÁX	*	*	20	13	*
5	TIG	ER-317-L	3,2	*	60ºC MÁX	*	*	20	13	*
6	TIG	ER-317-L	3,2	*	60ºC MÁX	*	*	20	13	*
7	TIG	ER-317-L	3,2	*	60ºC MÁX	*	*	20	13	*

Tabela 6- Índices de sensitização e Energia de Soldagem empregada (Ir/Ia).

Condição	(mA / cm^2)				I_r / I_a	Energia de Soldagem (KJ/m)
	log (I_a)	log (I_r)	I_a	I_r		
MB	1,87	0,58	73,61	3,84	**0,05**	**-**
PLANA	2,05	1,21	113,30	16,38	**0,14**	**1,3**
VERTICAL	2,08	1,40	120,57	24,90	**0,21**	**1,6**
SC	2,10	1,47	126,51	29,33	**0,23**	**2,6**

Referências bibliográficas

1. TABOADA, A.;FRANK, L. –Intergranular corrosion in nuclear systems. In:Steigerwald, R.F., **ed.Intergranular corrosion stainless alloys,** Philadelphia, ASTM, 1978. P.85.
2. **Welding Handbook**. Metals And Their Weldability**.** 7º.ed. p. 98, 1998
3. AYDOGDU, determination of susceptibility to intergranular corrosion and electrochemical reactivation behaviour of AISI 316l type stainless steel. **Corrosion Science 48** (2006) 3565–3583, Metallurgical and Materials Engineering Department, Middle East Technical University, Ankara 06531, Turkey, March 2006
4. KAMACHI. Intergranular Corrosion Damage Evaluation Through Laserscattering Technique **corrosion science, Sciencedirect.com**, May 2005.
5. SEDRIKS A.J., **Corrosion of Stainless Steels**, John-Wileyand Sons, NewYork USA, 1979.
6. ASM- AMERICAN SOCIETY FOR METALS **Stainless Steels**. p.4, 1998.
7. REVISTA PETRO & QUÍMICA. 280 ed., Valete Editora Técnica comercial São Paulo, Março 2006.
8. MAGRI, M; ALONSO, N. **Métodos Eletroquímicos Para a Avaliação Da Sensitização Em Aços Inoxidáveis Martensíticos.** 50º CONGRESSO ABM. Corrosão e tratamento de superfície. São Paulo. p.133.
9. SOURMAIL, T. Intergranular Failure in Steel: The Role of Grain Boundary Composition. P.1–14,2001.
10. SONG Y.; BAKER N.; MCPHERSON A. A study of precipitation in as-welded 316LN plate using 316L/317L weld metal. **Materials Science and Engineering** A212 228-234(1996).
11. ASM- AMERICAN SOCIETY FOR METALS - SPECIALTY HANDBOOK. **Stainless Steels**, 1994
12. MACHADO I. G. **Soldagem & Técnicas Conexas: Processos**; 1996.
13. HALL, E.O.; ALGIE,S.H. **The Sigma Fase. Metallurgical Reviews**, V.11, P. 61-88, 1966.
14. BRANDI, S.; PADILHA, A.F. **Precipitação De Fase Sigma em Aços Inoxidáveis Ferríticos e Austeníticos com Estruturas Duplex.** II Seminário Brasileiro do aço inoxidável. p.135-152, 1990
15. SCHWIND M.; KALLQVIST J., **Interstitial Alloys**. In:Plenum Press, New York, 2000.
16. NACE – National Association of Corrosion Engineers, **Eletrochemical Techniques for Corrosion Enginering** 1986 P 218,219.
17. D. D. GORHE, K. S. RAJA ,S.A. NAMJOSHI, D. A. JONES, Development of an electrochemical reactivation test procedurefor detecting microstructural heterogeneity in Ni-Cr-Mo-W alloy welds. **Journal of materials science 39** (2004) 2257 – 2261.
18. MAJIDI A.P. & STREICHER M. A. Nondestructive Eletrochemical Tests fo Detecting Sensitizations in AISI 304 and 304L Stainless Steels. **NACE – National Association of Corrosion Engineers**, 1986 P 217,228.
19. SILVA C. C., MACHADO J. P., FARIAS J.P. Estudo Da Sensitização Causada Pelo Ciclo Térmico De Soldagem No Aço Inoxidável Superferrítico AISI 444 3º CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS.
20. PFEIL W. **Estruturas De Aço**. 5ºed, 1989.
21. F. HATAYA et al., Hitachi Research Laboratory, 3-11 Saiwai-Cho, Hitachi-Shi, Ibaraki-Kn, 317 Japan.
22. W. L. CLARK., The EPR Method For The Detection of Sensitization in Stainless Steels, **U.S Nuclear Regulatory Commission,Contract NRC-04-75-202 General Eletric** California 1981. P.2-9.