

EFEITO DO TRATAMENTO DE RECOZIMENTO POR SOLUBILIZAÇÃO E RECOZIMENTO NA RESPOSTA AO TESTE TECNOLÓGICO DE EXPANSÃO CÔNICA DE TUBOS COM COSTURA CONFECCIONADOS COM O AÇO AISI 316 L

Jabes Seur Ki Lee (IC) e Jan Vatauvuk (Orientador)

Apoio: PIBIC Mackenzie

Resumo

Nesse trabalho estudou-se a condição das juntas soldadas de tubos com costura confeccionados com a liga AISI 316 L, que contém além de austenita uma determinada porcentagem de ferrita delta, cuja presença pode reduzir a ductilidade necessária a determinados processos de conformação mecânica. Segundo dados industriais a ferrita delta pode piorar a resposta de tubos submetidos aos testes de expansão cônica. O tratamento térmico de recozimento por solubilização, normalmente aplicado para se reverter o processo de sensitização (corrosão intergranular em regiões do metal de base submetido a temperaturas na faixa de 500 a 800°C), reduz de maneira substancial o teor de ferrita delta, contribuindo desta forma no aumento da ductilidade do material da poça de fusão. No presente trabalho estabeleceu-se uma comparação direta para um mesmo tubo, a capacidade de atender a um teste de expansão cônica em material com e sem o tratamento térmico de recozimento por solubilização. Apesar da expressiva redução do teor de ferrita delta no material tratado, o teste realizado não se apresentou agressivo suficiente para causar falha no tubo não tratado.

Palavras-chaves: ferrita delta, tratamento térmico e expansão cônica.

Abstract

In this work it was studied the condition of the welded joints in tubes made with AISI 316 L which contains a determined percentage of delta ferrite that can cause a reduction of the ductility which it's necessary for certain forming process. According to industrial data, the ferrite delta can reduce the response of the tube submitted to the expansion tests. The thermal treatment of annealing by solubilisation, generally applied to revert the process of sensitization (intergranular corrosion in regions of base metal submitted to temperatures in the range of 500 to 800 °C), substantially reduce the delta ferrite content, increasing the material ductility of the melting pool. In this present work it was set a direct comparison for the same tube the capacity to attend a conical expansion test in a material that was and wasn't treated by heat treatment.

Despite the significant reduction of delta ferrite contained in the treated material, the test performed wasn't aggressive enough to a cause failure in the untreated tube.

Keywords: ferrite δ , heat treatment and conical expansion.

INTRODUÇÃO

O uso aço inoxidável tem crescido muito em todos os tipos de setores, sendo utilizado desde na confecção de utensílios domésticos a componentes de grandes fábricas. Para utilizar esse material é necessário moldá-lo em estruturas mais fáceis de se manipular como chapas, tubos e tarugos, para que depois seja transformada no produto destinado.

O tubo cilíndrico de aço inoxidável pode ser classificado de duas formas conforme a sua fabricação: com costura, e sem costura. Os tubos com costura são formados a partir de chapas que são encurvadas e depois soldadas. Eles são mais acessíveis que os de sem costura devido ao fator financeiro, os custos são menores. Os sem costura são fabricados a partir de cilindros de aço que passam por processos de aquecimento e são perfurados por cilindros rotativos para obter a forma de tubo oco. Esses geralmente são utilizados para trabalhos que exigem maior confiabilidade no quesito de suportar grandes pressões (Armendro, Ribeiro, Fiori, 2011).

Propriedades do aço podem sofrer alterações durante o processo de fabricação devido a formação de certas fases como a ferrita delta, carbonetos e fases intermetálicas. A quantidade, o tamanho, a distribuição e a forma destas fases têm influência marcante nas propriedades do material (Ishida, 2009),

Para prevenir a formação ou ter o controle das fases que são formadas, os tubos são submetidos a uma etapa final de tratamento térmico, mas em certas ocasiões os fabricantes evitam a realização deste ciclo térmico para a redução dos custos industriais.

O objetivo desse trabalho será analisar a junta soldada dos tubos com costura confeccionados com a liga AISI 316. Será realizado a teste tecnológico de expansão cônica para determinar a influência desta fase na junta soldada.

REFERENCIAL TEÓRICO

Os aços inoxidáveis são ligas de ferro, carbono e cromo com um mínimo de 10,50% de Cr (Cunto, 2005). Outros elementos também integram estas ligas como pequenas adições de componentes que são resultantes dos materiais utilizados na fabricação do aço (C, Si, Mn, N), ou adicionados intencionalmente com o propósito de melhorar as propriedades do aço para certas aplicações específicas (Al, Mo, Cu, Ti, W, Nb e Co) ou na forma de impurezas, nas quais são geralmente considerados indesejáveis, como é o caso do O, P e S. O Cr é considerado o elemento mais importante, responsável pela formação da camada passiva que confere ao material uma grande resistência a corrosão.

Os aços inoxidáveis são classificados em cinco famílias, quatro delas baseiamse no tipo de microestrutura (ferrítica, austenítica, duplex (ferrítico + austenítico) e martensítica). A quinta família classifica o aço inoxidável pelo tipo de tratamento térmico utilizado, sendo ligas

que tem em sua composição química elementos de liga que possibilitam o mecanismo de endurecimento por precipitação, obtido pelo tratamento de solubilização e envelhecimento.

O esquema da figura 1 a seguir ajuda no entendimento da classificação dos aços inoxidáveis:

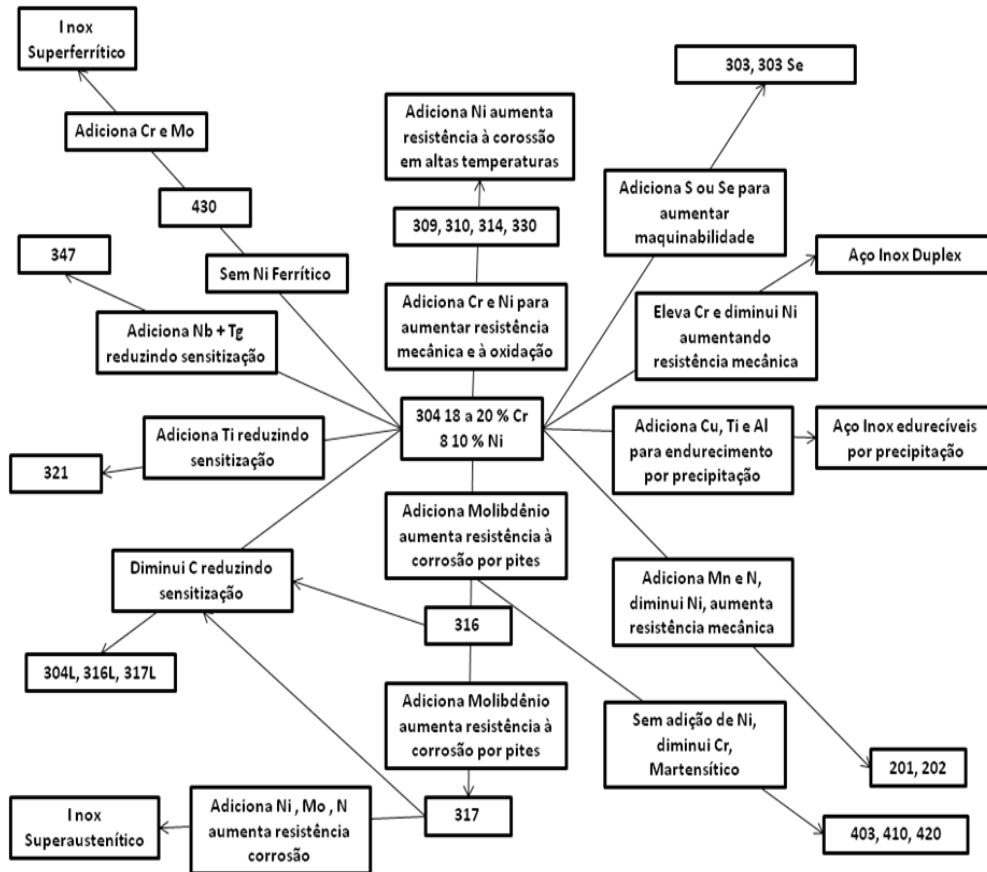


Figura 1: Famílias dos Aços inoxidáveis com suas respectivas nomenclaturas de acordo com a norma AISI.

Os aços inoxidáveis austeníticos (série 300) representam o grupo mais amplo e de maior produção entre a família dos aços inoxidáveis. Eles são formados basicamente por ferro, cromo e níquel, e comumente apresentam boa resistência geral à corrosão, mesmo em elevadas temperaturas, soldabilidade, resistência mecânica e resposta aos trabalhos a frio possibilitando serem aplicados em temperaturas muito altas e muito baixas (criogênicas), condição dificilmente alcançada com outros materiais. Estas ligas são formuladas e submetidas a diversos tratamentos térmicos para controlar a formação de fases e apresentarem uma microestrutura predominantemente austenítica (Pessanha, 2011). A solidificação de suas ligas, basicamente formada por Fe-Cr-Ni, pode ser iniciada com a formação de ferrita ou austenita. Na solidificação com austenita primária os resultados podem ser uma estrutura completamente austenítica ou com formação de ferrita eutética nas dendritas de austenita.

A ferrita δ que acaba surgindo na estrutura do metal é resultante da participação durante o processo de solidificação de elementos que promovem a formação da ferrita, normalmente o Cr e o Mo. Caso o material seja submetido a processamento termomecânico parte da ferrita delta poderá ser reduzida, mas a remanescente apresentará uma distribuição associada as deformações principais decorrentes do processo. A quantidade final da ferrita δ dependerá da composição química e das condições de soldagem que controlam a velocidade de resfriamento. Quanto maior esta velocidade, menor será a extensão da transformação e maior a quantidade de ferrita (Pessanha, 2011). O diagrama de schaeffler, exibido no diagrama 1, é um recurso que pode utilizado para se estimar a quantidade de fases (ferrita, martensita e austenita) em estruturas fundidas, levando em consideração a composição do material em termos de cromo e níquel equivalentes.

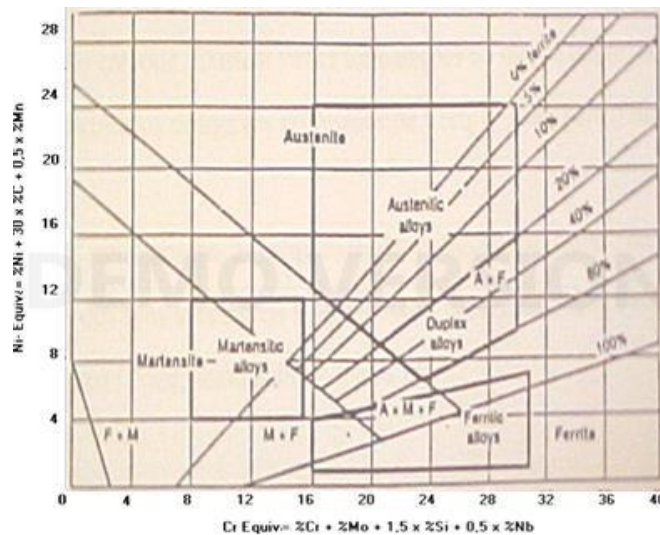


Diagrama 1: Diagrama de Schaeffler (GOMES; 2000)

Embora a ferrita seja indesejável nos aços inoxidáveis austeníticos, devido principalmente à suas características magnéticas e de corrosão, a ferrita delta, quando presente em teores não muito elevados na zona de solda, é um constituinte benéfico, pois reduz a tendência à formação de trincas na solidificação e melhora a resistência a corrosão em certos meios, como, por exemplo, aqueles que tenham a presença de cloretos.

Um fenômeno bastante frequente nos aços inoxidáveis austeníticos, é a sensitização, que consiste no fenômeno de corrosão intergranular decorrente do empobrecimento de cromo próximo a região de contornos de grão, como pode ser visto na figura 2.

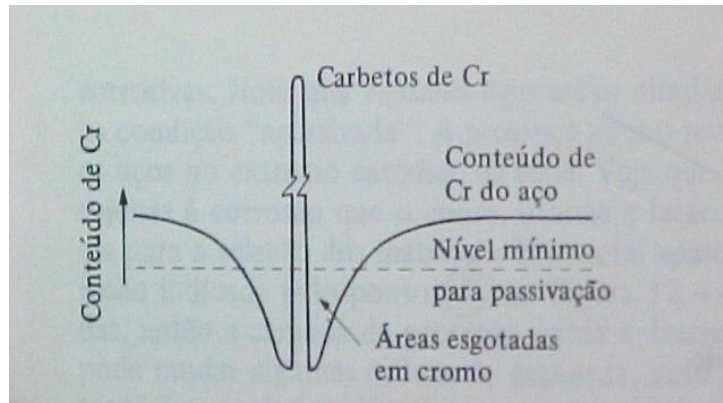


Figura 2 - Empobrecimento de cromo gerado pelo fenômeno da sensibilidade nos inoxidáveis austeníticos ao longo da linha de referência em pontilhado.

A precipitação de carbonetos de cromo nos contornos de grão da austenita ocorre quando esta classe de matérias fica submetida a temperaturas na faixa de 500 a 800°C, tipicamente na zona afetada termicamente pelo calor de juntas soldadas.

Pode-se recuperar as propriedades anticorrosivas das ligas que porventura estejam sensibilizadas através do tratamento térmico de solubilização. Este tratamento consiste no aquecimento e manutenção em temperatura elevada seguida de resfriamento suficientemente rápido para evitar a reincidência da precipitação de carbonetos de cromo nos contornos de grão. Durante a aplicação do ciclo térmico de solubilização, além da dissolução dos carbonetos de cromo, ocorre uma redução substancial do teor de ferrita delta contribuindo desta forma no aumento da ductilidade do material da poça de fusão (Gonçalves, Araújo, Braga, Terrones, Paranhos, 2014).

Vale salientar que em muitas aplicações industriais da atualidade, este tratamento térmico não é aplicado. Os teores de carbono das ligas 304 e 316 de fabricação mais recente ficam geralmente abaixo de 0,05 % (Jan Vatajuk comunicação pessoal), muito inferior do valor 0,08 % estabelecido por norma, o que torna mais difícil a ocorrência do processo de sensibilização, conforme pode ser inferido mediante análise da figura 3 apresentada a seguir.

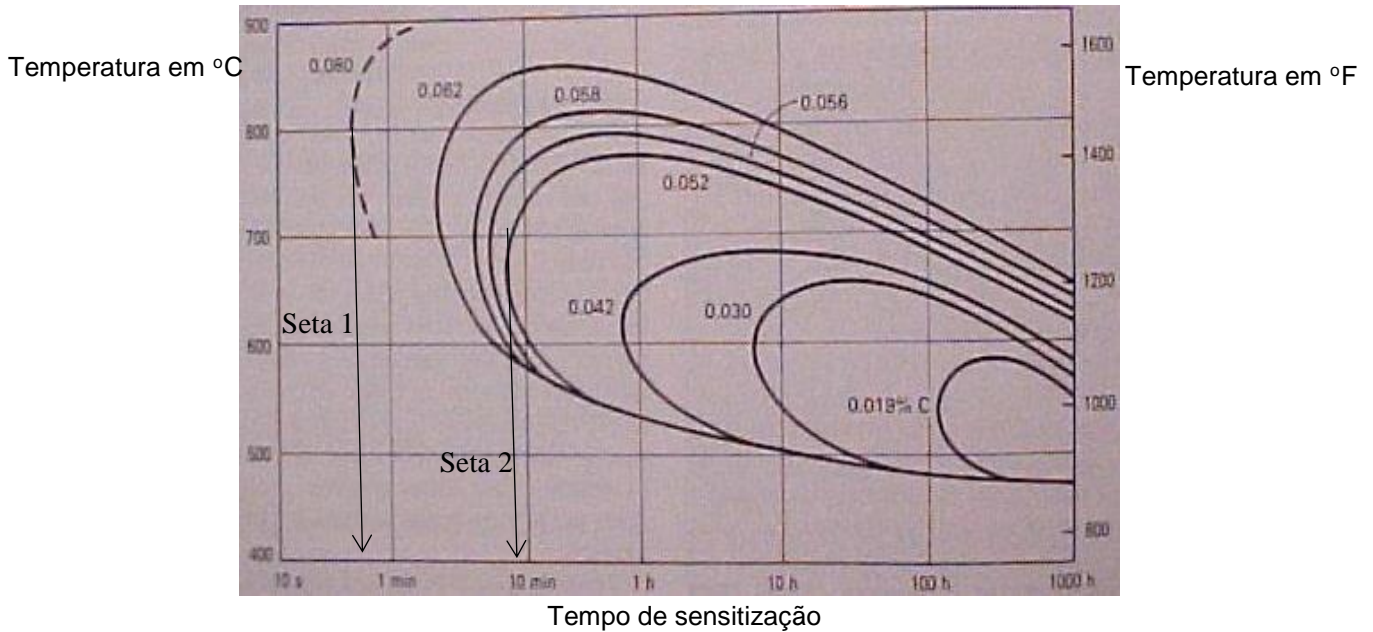


Figura 3- Efeito do teor de carbono na cinética do processo de sensibilização. Seta 1 tempo para sensibilização para 0,08 % de carbono. Seta dois tempo de sensibilização para 0,052 % de carbono.

O exame da figura acima indica que a sensibilização para os teores de carbono atualmente praticados (abaixo dos indicados pela seta 2 das figura 17), deva ocorrer para taxas de resfriamento acima de 10 minutos, tempo superior as taxas de resfriamento de tubos de parede fina após soldagem.

Visita técnica à Aperam:

Aperam Inox Tubos Brasil é o produtor líder de tubos de aço inoxidável no mercado brasileiro, fornecendo tubos austeníticos (série 300) e ferríticos (série 400) em diversas formas (redondas, quadradas e retangulares). Na figura 4 pode ser ilustrada um dos produtos da empresa.



Figura 4 - Conexões de secção circular (Aperam)

Na unidade de Ribeirão Pires é produzida uma grande gama de produtos para o mercado de bens de capital, tais como:

a) **Sucroalcooleiro:**

Na figura 5 pode ser visto um exemplo de uso do aço inoxidável, no terno das moendas, mas além desse há também o uso nos difusores, nas esteiras de bagaço, no revestimento de cozedores;



Figura 5 - Moenda de cana (Rani Piertotti)

b) **Alimentos e bebidas:**

Exemplos: Fabricação de utensílios domésticos, como facas, panelas, exemplar demonstrado na figura 6.



Figura 6 - Panelas de aço inoxidável (Sem Medida)

c) **Trocador de calor:**

Exemplos: Chapas e tubos que fazem parte de sua composição. Na figura 7 pode ser visualizado esses componentes no trocador de calor.



Figura 7 - Trocador de calor multitubular da série K (Direct Industry)

d) Papel e celulose:

Exemplos: Lâminas de picadores de madeira (figura 8), além das tubulações que transportam a celulosa em forma aquosa pela fábrica.



Figura 8 - Lâminas de picadores de madeira (Demush)

e) Químico e petroquímico:

Exemplos: Tubos, válvulas, compressores, bombas, flanges (figura 9);



Figura 9 - Flanges de aço inox (Antares)

d) Instrumentação e Automotivo:

Exemplos: Limpadores de para-brisa, capas de air-bag, juntas de vedação, tanque de combustível, escapamento (figura 10).



Figura 10 - Peça do sistema de escapamento (Escap)

f) **Gás e óleo:**

Exemplos: Grandes tubulações utilizadas para o transporte de gás e óleo. Na figura 11 pode ser vista o uso do aço inoxidável para a função mencionada.



Figura 11 - gasoduto Brasil-Bolívia (Petrobrás)

A unidade trabalha com duas formas de soldagem, a helicoidal e a longitudinal, e logo no começo da visita foi visto alguns exemplos do trabalho feito com solda pela Aperam como pode ser visto pela fotografia 1.



Fotografia 1- Estante com amostragens

No transcorrer da visita acompanhou-se o processo de formação de tubos de costura de pequeno diâmetro e espessura, que resumidamente, segue as seguintes etapas:

1. Primeiramente é necessário cortar a chapa em uma largura específica para que na formação do tubo o diâmetro formado seja o desejado. Na figura 12 é possível ver essa etapa.

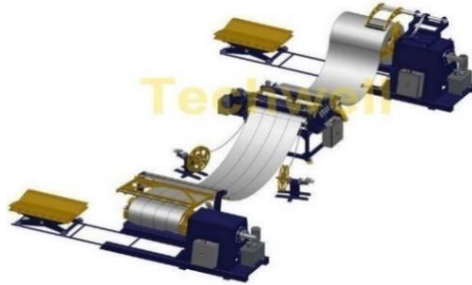


Figura 12 - Processo de corte das chapas (Techwell)

Após o corte, as chapas com a nova largura são armazenadas em forma de bobinas, e quando é chegado a hora são posicionadas para o desbobinamento.

2. As chapas então passam por um processo de desbobinamento, alinhamento e de ajustes das bordas, como pode ser visto na figura 13.



Figura 13 - Parte inicial da fabricação de tubos (Arcel)

3. Após o alinhamento as chapas passam por uma série de rolos conformadores. Nessa etapa o formato do tubo vai surgindo, a cada enrolamento que o metal passa, mais se encurva, até o formato do cilindro se completar, procedimento ilustrado na figura 14. Durante esse processo é despejado sobre o material uma espécie de desengraxante fortemente alcalino para prepará-lo para a deformação a frio.

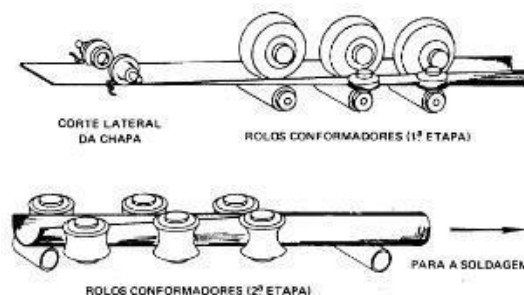


Figura 14 - Etapa de conformação mecânica (Metalica)

4. Secagem. Devido ao líquido que é despejado durante a conformação esta etapa é necessária.

5. Soldagem. Há vários métodos de soldagem utilizado na fabricação de tubos de aço inoxidável, sendo o plasma, TIG e laser apenas alguns deles. A escolha de qual usá-lo depende muitas vezes do custo e espessura do material.

TIG: Técnica de soldagem ao arco elétrico com proteção gasosa com a utilização de um eletrodo de tungstênio e um gás inerte, como o argônio, hélio ou uma até uma mistura dos dois, utilizado para proteger a poça de fusão com as impurezas presentes do ar, como pode visualizado na figura 15.

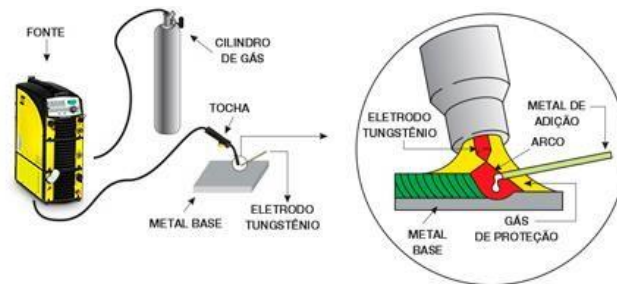


Figura 15 - Soldagem TIG (Ensab)

A capacidade de soldar em baixa corrente mais a capacidade de adicionar o arame de adição necessária, faz dele ideal para materiais finos, além de ser facilmente mecanizado.

Plasma: O processo de soldagem a arco de plasma é uma derivação do processo TIG, porém o seu arco é chamado constrito porque é limitado por um bocal que restringe o diâmetro do arco e aumenta a intensidade da fonte de calor. Assim como mostrado na figura 16, esse método possui dois fluxos de gases, um deles sai do bocal constritor e rodeia o eletrodo sob a forma de um jato altamente aquecido, chamado plasma, o outro passa por um bocal externo, concêntrico ao bocal constritor, e funciona como proteção.

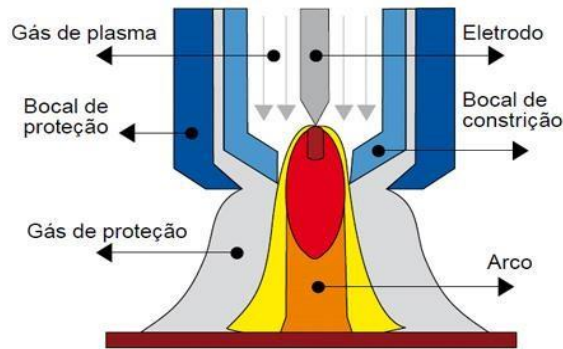


Fig.1 Uma esquematização da tocha de soldagem a plasma.

Figura 16 - Soldagem por arco-plasma (Metalica)

Laser: Método que consiste basicamente na aplicação de um feixe de raio laser na solda. Esse processo possui diversas vantagens: possui muitos menos distorções, defeitos metalúrgicos sofridos na zona afetada pelo calor são minimizados, não requer metal de adição, eliminando assim eventuais contaminações, facilidade em soldar locais de difícil acesso e pode ser automatizado. Porém o custo é elevado devido aos equipamentos, dessa maneira seu uso acaba ficando restrito a fabricação de produção em massa.

6. Endireitadeira. Após serem soldados precisam ser endireitados para permanecerem alinhados, pois o tubo tem a tendência de se deformar devido a etapa anterior.

7. Por último, o corte, uma máquina automatizada corta na medida estabelecida e assim são armazenados.

Durante todo o processo é feita uma análise do tubo e da costura, chamado de ensaio não destrutivo, para que sempre se siga as especificações do cliente e não possua defeitos. Aqueles que possuírem irregularidades que prejudiquem a estrutura são logo descartados.

A inspeção observada foi o ensaio por corrente parasita, processo demonstrado na figura 17, e pode ser explicada da seguinte maneira: Quando uma bobina é alimentada por uma corrente elétrica alternada, ela produz um campo magnético cuja direção é perpendicular à superfície da amostra, denominado campo indutor ou campo primário. Quando a bobina é posta próximo da superfície do material condutor elétrico, nesse caso o tubo de aço, o campo indutor induz correntes elétricas na superfície e no interior da amostra chamada de correntes parasitas, ou eddy current. Essas correntes elétricas alternadas fluem em planos paralelos às espiras da bobina de ensaio e produzem um campo magnético alternado, chamado campo magnético induzido ou secundário, cuja direção é a mesma do campo indutor, porém em sentido oposto (Loureiro, 2010).

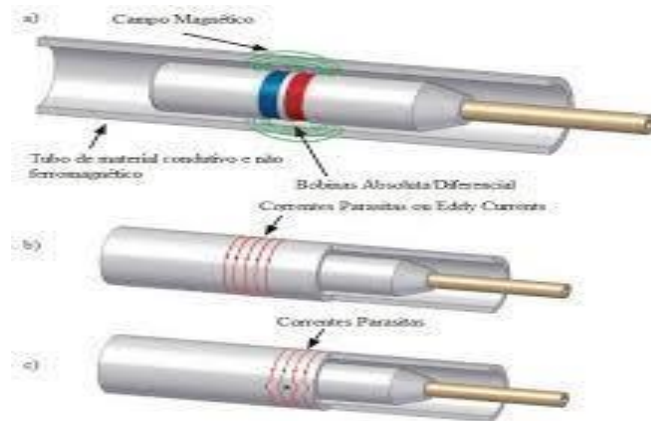


Figura 17 - Ensaio não destrutivo por corrente parasita (Olympus)

A presença de um defeito no material causa um aumento na resistência à passagem de corrente elétrica naquela região, produzindo uma redução no fluxo de correntes parasitas, e a partir dessa diferença é analisada as propriedades do material.

MÉTODO

O material a ser estudado são tubos mecânicos em inox AISI 316L com costura (cordões de solda longitudinais) cedidos pela empresa **Aperam**. Os processos de soldagem utilizados foram: Laser e TIG (GTAW).

A composição química nominal do material empregado na fabricação dos tubos está apresentada na Tabela I.

Tabela 1- composição química nominal do material empregado na fabricação dos tubos

Aço	Ni	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	N
316L	10-13%	0,03%	2%	0,75%	0,045%	0,015%	16,5-18 %	2,0-2,5 %	0,10%

Fonte: Aperam

Tabela 2- Diâmetros dos tubos

Tubos	Diâmetro interno (mm)
TIG	16,80
Laser	26,64

A caracterização da quantidade distribuição tamanho e forma da ferrita delta (\square) para os diferentes processos de soldagem, será realizada através do emprego de várias técnicas experimentais:

- Utilização de ataque eletrolítico.
- Observação da microestrutura através microscopia ótica - Testes de microdureza na região soldada.
- O teste tecnológico de expansão cônica.

RESULTADO E DISCUSSÃO

Tratamento Térmico:

Foi realizado o tratamento térmico de solubilização. O processo consistiu em aquecer a amostra a 1060°C por 30 minutos. Nesta temperatura ocorre a solubilização completa dos carbonetos de cromo precipitados durante a exposição a faixa de temperatura crítica do processo de sensitização (500 a 800°C).

Preparação Metalográfica:

O material a ser estudado foi cortado e depois preparado metalograficamente através das etapas de lixamento e polimento. Foram utilizadas lixas de granulometria 240, 320, 400, 600 e 1200 mesh. Após o lixamento, na etapa de polimento, foi utilizado pasta de diamante. O ataque eletrolítico foi feito utilizando uma solução Ácido Oxálico Solução 10% utilizando uma voltagem de 3,0V e 0,3A por dois minutos.

Teste de Microdureza:

O teste de microdureza foi realizado no microdurômetro HMV do fabricante Shimadzu, número de série 4648, em 3 pontos na região da solda para podermos verificar a variação da dureza antes e após o tratamento térmico. As amostras 2 e 3 são referentes ao tubo soldados à laser e o tubo 1 e 4 ao tubo com solda feita por processo TIG.

Tabela 3- Valores de microdureza na Zona Fundida das amostras após o tratamento térmico

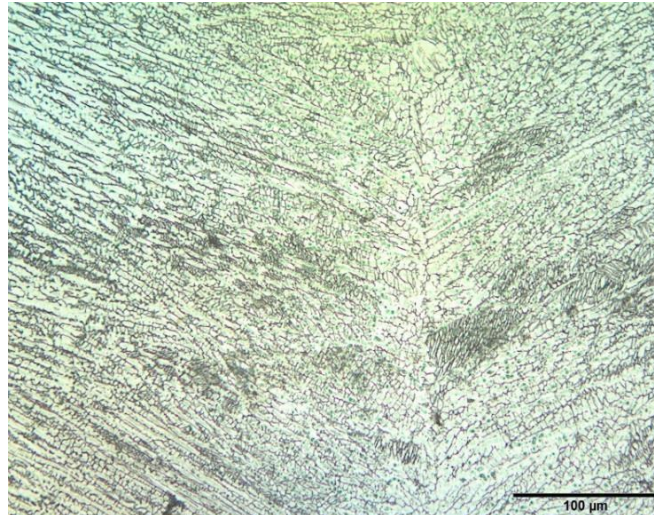
Amostra (com tratamento térmico)	Microdureza HV 0,1		
1 (TIG)	160	160	160
2 (Laser)	151	151	151

Tabela 4: Valores de microdureza na Zona Fundida das amostras antes do tratamento térmico

Amostra (sem tratamento térmico)	Microdureza HV 0,1		
3 (TIG)	213	213	213
4 (Laser)	206	206	206

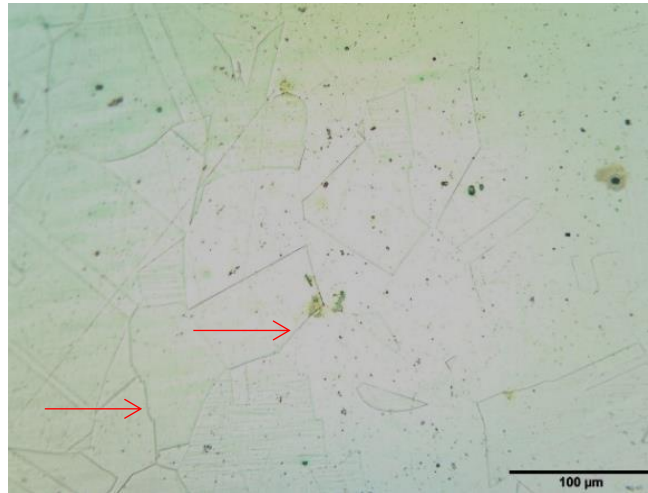
Zona Fundida:

Foi feita a observação microscópica na zona fundida a fim de analisar as transformações que ocorrem no material após o tratamento térmico de solubilização. A Fotografia 2 e 4 se referem a antes do tratamento térmico e a fotografia 3 e 5 depois do tratamento térmico, para tubos soldados pelo processo Laser e TIG respectivamente.

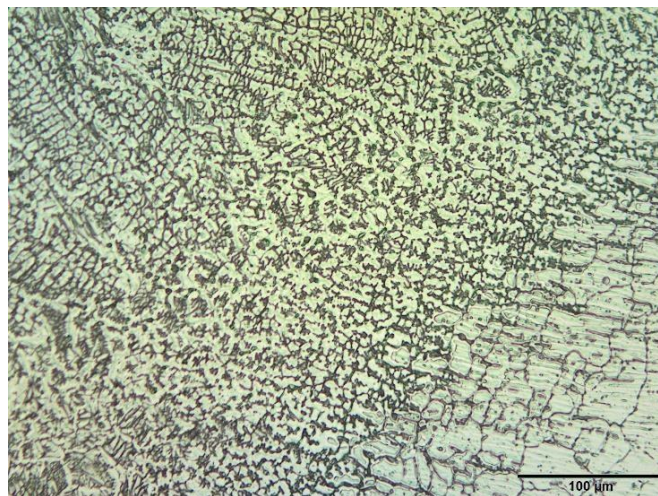
**Fotografia 2-** Micrografia do tubo de aço soldado à laser sem tratamento térmico

Na figura acima pode se observar que a estrutura bruta na poça de fusão apresenta uma grande quantidade de ferrita delta.

Pode se observar que após a realização do tratamento de solubilização ocorre uma grande redução no teor de ferrita delta e os contornos de grãos de austenita ficam livres para ocorrer o crescimento de grão, vide fotografia 3

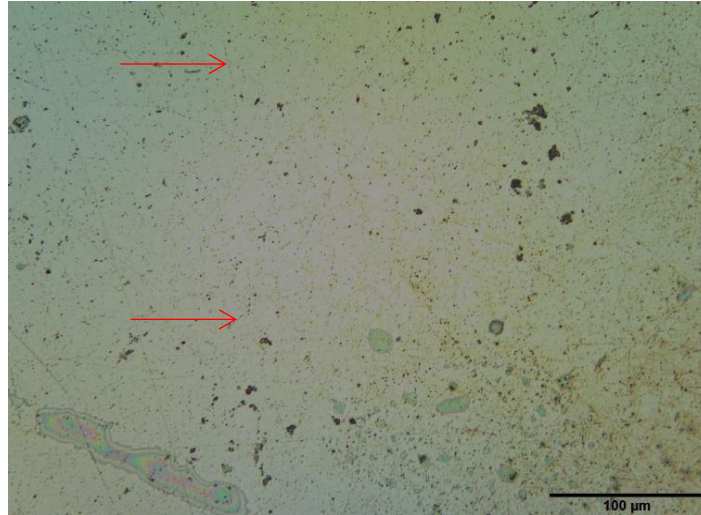


Fotografia 3- Micrografia do tubo de aço soldado à laser após tratamento térmico.



Fotografia 4- Micrografia do tubo de aço soldado pelo método TIG sem tratamento térmico

No tubo soldado pelo método TIG também é possível verificar a mesma ocorrência de uma grande diminuição da concentração de ferrita delta.



Fotografia 5- Micrografia do tubo de aço soldado pelo método TIG após tratamento térmico. Teste Tecnológico de expansão cônica:

Os tubos de costura TIG (fotografia 6 e 7) foram submetidos ao ensaio de expansão em cone com 60 graus até que seu diâmetro interno atingisse o valor de 20,50 mm (22% do diâmetro interno) e dois tubos, sem e com o tratamento térmico, não apresentaram trincas ou fissuras.

Os tubos de costura à laser (fotografia 8 e 9) foram submetidos ao ensaio de expansão em cone com 60 graus até que seu diâmetro interno atingisse o valor de 33,30 mm (25% do diâmetro interno), os dois tubos, sem e com o tratamento térmico, não apresentaram trincas ou fissuras.



Fotografia 6- Tubo de costura à TIG sem TT após o teste de expansão cônica



Fotografia 7- Tubo de costura à TIG com TT após o teste de expansão cônica



Fotografia 8- Tubo de costura à laser sem TT após o teste de expansão cônica



Fotografia 9- Tubo de costura à laser com TT após o teste de expansão cônica.

Os resultados dos testes de expansão cônica, obedecendo a norma ASTM A 1016, indicaram que não houve diferença de comportamento entre as duas condições de soldagem, com e sem a realização do tratamento térmico de recozimento por solubilização. Provavelmente o grau de deformação plástica imposto pelos testes neste estudo não foi suficientemente severo para se determinar o efeito do tratamento térmico na melhora da ductilidade do material na junta soldada. A dureza mais elevada das juntas soldadas não tratadas pode ter impossibilitado a ocorrência de deformação plástica nesta região, visto que para pequena deformação não ocorre encruamento suficiente do metal base para impor a deformação em região inicialmente mais resistente.

CONCLUSÃO

O material soldado sem tratamento térmico de solubilização apresentou ferrita delta na zona fundida com diversas morfologias como vermicular e de contorno de grão distribuídas pela matriz austenítica. Ao sofrer o tratamento térmico foi possível visualizar que houve uma grande redução do teor de ferrita δ na poça de fusão.

A resistência mecânica diminui quando o material é tratado termicamente, porém houve uma grande discrepância na dureza do material antes e após o tratamento térmico, possivelmente pelo fato do resfriamento feito após o tratamento ter sido ao ar livre, não com água.

Os resultados do teste de expansão cônica indicam que não houve quebra em nenhum dos tubos originais. É possível que a não ocorrência da falha nos tubos contendo maior quantidade de ferrita delta, esteja associado ao grau de deformação plástica relativamente baixo no ensaio realizado.

REFERÊNCIAS

Açosporte. Tubo de Aço Inox 304. Característica do Tubo de Aço Inox 304. Disponível em <<http://www.acosporte.com.br/tubos-aco-inox-304>>.

Antares. Fabricantes de Flanges em Aço Inox. Disponível em <<http://www.acosantares.com.br/fabricante-flange-aco-inox-fabricantes-flanges-acosinox.php>>.

Aperam. Aço Inoxidável. Lista Completa de Soluções. Conexões. Disponível em <<http://www.aperamservicos.com.br/produtos.php?page=conexoes>>.

Arcel. Endireitador de chapas. Disponível em <<http://www.arcel.com.br/produtos/automacao/endireitadores.php#&panel1-6>>.

Cosentino, R. Boas Práticas. Aços inoxidáveis para equipamentos e instalações farmacêuticas. Disponível em <<http://boaspraticasnet.com.br/?p=8700>>.

Cunto, J. C. Estudo da Resistência à Corrosão de Aços Inoxidáveis para Uso na Parte Fria dos Sistemas de Exaustão de Veículos. Dissertação – Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais. Universidade de São Paulo, 2005.

Demuth. Facas para madeira. Disponível em <<http://www.demuthmachines.com/produtos/index.php?prod=35>>.

Direct Industry. Disponível em <<http://www.directindustry.com/pt/prod/hrs-heatexchangers/product-90471-1637344.html>>.

Ensab. Processo de Soldagem TIG (GTAW). Disponível em <http://www.esab.com.br/br/pt/education/blog/processo_soldagem_tig_gtaw.cfm>.

Escap. Disponível em <<http://www.escaponline.com.br/abafadores-esportivos/abafador-escapamento-esportivo-inox-ponteira-dupla-2-5-polegadas->>>.

GOMES, E. S. Influência da Precipitação de Intermetálicos na Resistência A Corrosão e Dureza dos Aços Inoxidáveis Duplex SAF 2304 SAF 2205 e SAF 2507 Envelhecidos a 750°C 800°C e 850°C. Dissertação de Mestrado- Mestrado Profissional em Engenharia de Materiais. Universidade Presbiteriana Mackenzie, 1996.

Gonçalves, R. B; Araújo, P. H. D.; Braga, F. J. V. B.; Terrones, L. A. H.; Paranhos, R. P. R. Efeito do Tratamento Térmico de Solubilização e Estabilização Convencional e Alternativo na Microestrutura de uma Junta Soldada com Aço Inox 347. Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil, 2014.

ISHIDA, M. A. Avaliação Comparativa de Barras Laminadas do Aço AISI 316L Com e Sem Tratamento Térmico de Solubilização. 2009. Dissertação - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.

Loureiro, J. P. Caracterização do Aço Inoxidável Duplex UNS S31803 pela Técnica Não Destrutiva de Correntes Parasitas Pulsadas. Projeto – Graduação em Engenharia Metalúrgica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

Metalica. As vantagens e os limites atuais da solda a plasma. Disponível em <<http://www.metalica.com.br/as-vantagens-e-os-limites-atuais-da-solda-a-plasma>>.

Metalica. Tubos industriais. Disponível em <<http://www.metalica.com.br/tubosindustriais>>.

Olympus. Disponível em <<http://www.olympus-ims.com/sv/ms-5800-tube-inspection/>>.

Pessanha, E. C. QUANTIFICAÇÃO DA FERRITA DELTA E AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO MICROESTRUTURA/ PROPRIEDADES DE UM AÇO INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO 347 SOLDADO. Dissertação – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Rio de Janeiro, maio 2011.

Petrobrás. Gasoduto Brasil-Bolívia - trecho sul. Disponível em <<http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/principais-operacoes/gasodutos/gasoduto-brasil-bolivia-trecho-sul.htm>>.

Portal Metálica. Aço Inox: Processos de Soldagem. Disponível em <<http://www.metalica.com.br/aco-inox-processos-de-soldagem>>.

Rani Pierotti. Disponível em <<http://www.ranipierotti.com.br/pt/?aspx=Produto&produto=12x16>>.

Armendro, B. N.; Ribeiro, F. M. P.; Fiori, M. A. P. Tubos com e sem costura: breve histórico e principais processos produtivos. Engenharia Metalúrgica e de Materiais USP, São Paulo, 2011.

Sem Medida. Disponível em <<http://semmedida.com/jornal/panela-certa-e-que-faz-comida-boa-conheca-alguns-tipos-e-suas-aplicacoes-na-cozinha/>>.

Techwell. Máquina de corte simples do aço/metal para cortar bobinas 0,2 - 1,8 * 1300 em 10 tiras. Disponível em <<http://portuguese.cold-rollformingmachine.com/sale699408-simple-steel-metal-slitting-machine-for-slitting-0-2-1-8-1300-coil-into-10strips.html>>.

VATAVUK, J. Estudo sobre Efeito do Nióbio na Resposta ao Tratamento Térmico de Ligas Fe-17Cr, Fe-17Cr-Ni e do Níquel e Cromo na Solubilidade do Nióbio na Ferrita". Dissertação – Mestrado em Engenharia Metalúrgica. Universidade de São Paulo, USP-1986.

Contato: jables0397@hotmail.com e janvatavuk@uol.com.br