

ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS EM CORDÃO DE SOLDA A GÁS INERTE COM ELETRODO DE TUNGSTÊNIO NA FABRICAÇÃO DE TANQUES DE AQUECEDOR SOLAR COM ESPESSURA DE CHAPA REDUZIDA

Edgar Bergo Coroa
Sandro Querubim

Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEMec), Engenharia de Superfícies – São Carlos, SP, Brasil.
edgar.coroa@estudante.ufscar.br
sandro.cherubim@estudante.ufscar.br

Luis Antonio Oliveira Araujo

Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEMec), Engenharia de Superfícies – São Carlos, SP, Brasil.
luis.araujo@ufscar.br

Resumo: Os processos de soldagem a gás inerte com eletrodo de tungstênio (TIG) são largamente utilizados na união de materiais metálicos de diferentes espessuras, como os aços inoxidáveis. São processos empregados em diferentes segmentos na indústria, destacando-se na área metalúrgica a solda linear e circunferencial em vasos de pressão aplicados no sistema de aquecimento solar. Os reservatórios metálicos utilizados no armazenamento de água, geralmente são fabricados com chapas de aço inox 304 ou 316L calandradas e soldadas através do processo TIG. Os parâmetros de soldagem TIG como comprimento do arco, velocidade de soldagem, vazão do gás e corrente de soldagem são críticos, influenciando características de processo como: qualidade da união, lucratividade, custo da soldagem etc. Foram revisados artigos científicos de revistas da área de engenharia mecânica, de materiais e metalurgia da soldagem. O foco principal, foi buscar informações sobre métodos, processos e análises através de ensaios destrutivos e não destrutivos dos materiais para estudo da solda manual TIG em chapas finas de aços inoxidáveis. A presente pesquisa tem como objetivo principal desenvolver uma metodologia de avaliação dos cordões de solda entre corpo e tampas (solda manual) dos vasos de pressão.

Palavras-chave: Vasos de pressão. Chapas finas. Aços inoxidáveis. Ensaios. Parâmetros de soldagem.

1. INTRODUÇÃO

A soldagem é um processo de produção muito importante na indústria. A ideia principal do projeto de pesquisa foi fazer um estudo sobre ensaios destrutivos e não-destrutivos no cordão de solda para a validação futura de um equipamento de soldagem automática, a fim de comparar os resultados antes e depois entre a solda manual com a solda automatizada no tampo e corpo de um reservatório - solda circunferencial.

Na linha de montagem de aquecedores solares, o processo de soldagem é a etapa crítica que define o gargalo na produção atual dos reservatórios. Esse processo é realizado em três estações de trabalho. Para produção de reservatórios térmicos utiliza-se processo de soldagem a gás inerte com eletrodo de tungstênio (TIG) de chapas finas de aço inoxidável com adição de material na posição plana e circunferencial com configuração de junta sobreposta. Esses reservatórios são parte essencial da linha de equipamentos para aquecimento solar, tanto residencial como industrial. Apesar do processo ser certificado, tanto em termos do operador e da especificação do procedimento de soldagem (EPS), o resultado depende das habilidades do soldador em cada cordão de solda executado. Ainda, dados do processo são coletados de forma manual, o que interfere na qualidade e rastreabilidade do produto.

Dessa forma, um desafio tecnológico a ser vencido reside em garantir a qualidade da junta soldada, especialmente no processo de soldagem de chapas finas (de 0,4 mm a 1,2 mm de espessura) de aço inoxidável, que é complexo do ponto de vista da metalurgia de solidificação da poça de fusão e da formação da zona termicamente afetada (ZTA).

Todos os reservatórios soldados passam pela bancada de teste hidrostático. Esse teste consiste em adicionar água no reservatório, pressurizar e passar ar comprimido em todos os pontos de solda avaliando se há algum ponto de vazamento. Caso haja, o operador marca o ponto e encaminha o reservatório de volta para o processo de solda. Após o reparo, o reservatório volta para o teste hidrostático e por fim, se aprovado, passa para a próxima etapa do processo. Há acompanhamento mensal dos índices de retrabalho durante esse processo.

Com relação à Relevância acadêmica, o projeto apresenta desafios de pesquisa, desenvolvimento e inovação no estado da arte na área de materiais, especificamente soldagem de chapas finas de aço inox, corrosão e solidificação de materiais.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O aço inoxidável austenítico do tipo AISI 304 e AISI 316L, é o material utilizado na fabricação dos reservatórios térmicos residenciais; indústria automotiva, química e de vagões ferroviários, principalmente devido à sua excelente resistência à corrosão e melhor relação resistência / peso e sua composição química está na Tabela 1 (Devakumar e Jabaraj, 2014)

Tabela 1 - Composição química típica do aço AISI 304e e AISI 316L (% em peso)

Tipo	Composição Química (%)								
	C máx.	Mn máx.	Si máx	P máx.	S máx	Cr	Ni	Mo	N2 máx
304	0,08	2,0	1,0	0,045	0,03	18,0 a 20,0	8,0 a 10,5	-	0,1
316L	0,03	2,0	1,0	0,045	0,03	16,0 a 18,0	10,0 a 14,0	2,0 a 3,0	0,1

Min *et al.* (2021) diz que o aço inoxidável de grau 304 contém alto teor de níquel (%Ni), que é tipicamente entre 8 e 10,5% em peso, e uma alta fração de cromo (%Cr), em aproximadamente 18 a 20% em peso. Outros importantes elementos de liga incluem manganês, silício e carbono. O restante da composição química é principalmente de ferro

Em algumas situações em que o aço inoxidável 304 pode ser a melhor escolha:

- A aplicação requer excelente conformabilidade. O maior teor de molibdênio no Grau 316L pode ter efeitos adversos na conformabilidade.
- Com relação aos custos, o grau 304 é normalmente mais acessível (cerca de 50%.) do que o Grau 316L.

Aqui estão algumas situações em que o aço inoxidável 316L pode ser a melhor escolha:

- O ambiente inclui uma grande quantidade de elementos corrosivos.
- O material será colocado debaixo d'água ou exposto à água de forma consistente.
- Em aplicações onde maior resistência e dureza são necessárias.

2.1. Processos de soldagem TIG

De acordo com Kumar e Bharathi, (2016), o processo de soldagem TIG (tungsten inert gas), traduzido como soldagem com gás inerte e eletrodo de tungstênio, é um processo de soldagem a arco criado no final da década de 1930, quando a necessidade de soldar magnésio progrediu e se tornou uma necessidade. Para uma aparência de junta de solda decente, a soldagem TIG foi utilizada como uma alternativa excelente na extensa variedade de aplicações de soldagem. A soldagem TIG é um processo que funde e une metais aquecendo-os com um arco instalado entre os cátodos de tungstênio não consumível e a peça de trabalho sob um gás protetor. A Figura 1 a seguir ilustra um esquemático da soldagem TIG.

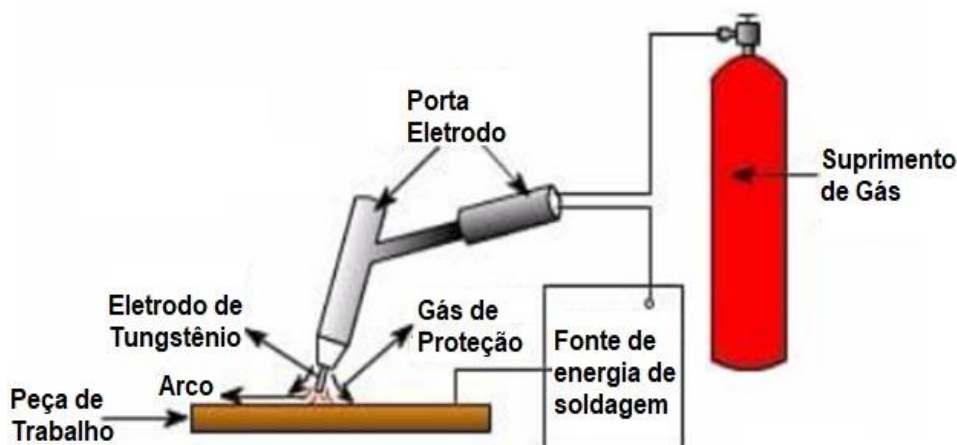


Figura 1 - Princípio de funcionamento da soldagem TIG (Kumar e Bharathi, 2016),

Gurudatt e Shivakumar (2016), relatam que o processo de soldagem TIG, a solda manual à arco com tungstênio convencional e gás (GTAW) é considerada uma das mais difíceis de todos os processos de soldagem usados em indústria já que exige do soldador além de cuidado, habilidade para trabalhar com ambas as mãos visto que, com uma ele alimenta o enchimento de metal na área de soldagem e, com a outra vai manipulando a tocha de soldagem.

O equipamento utilizado neste estudo para a soldagem TIG (solda circunferencial manual) foi a máquina de solda BALMER modelo MaxxiTIG 300P AC/DC, onde os parâmetros de soldagem podem ser verificados na tabela 2 a seguir.

Tabela 2 - Parâmetros de soldagem TIG para soldagem circunferencial manual (Autor, 2022).

<i>Parâmetros de soldagem</i>	<i>Chapa</i>
Chapa (mm)	1 corpo c/ 1,5 de tempo
Corrente (CCEN) (A)	80
Diâmetro do eletrodo mm	2,4
Tipo do Eletrodo	vermelho
Ângulo de afiação	$\leq 30^\circ$
Material do bocal	cerâmica
Diâmetro do bocal mm (tocha WT 20)	7
Gás de proteção	Argônio puro
Vazão do gás de proteção (Na tocha WT 20) (litros / minuto)	≥ 7 e ≤ 10
Vareta consumível	316L
Diâmetro da vareta mm	1,6
Velocidade de soldagem aproximada mm/s	5,331695332

2.1. Avaliação do Cordão de Solda do Reservatório

É de suma importância a avaliação do cordão de solda e este consiste em constatar se a soldagem executada resistirá as funções mecânicas requeridas. Os principais testes encarregados para essa constatação são os ensaios destrutivos e não destrutivos (Farias, Evander Luiz Abreu, 2014)

Os ensaios não destrutivos têm como meta encontrar defeitos que podem colocar em risco a região soldada, relacionando medições indiretas, qualitativas e poucas vezes quantitativas.

De acordo com Garcia, Spim e Santos (2012), os ensaios destrutivos, são aqueles que provocam inutilização parcial ou total da peça, analisando suas características até que ocorra a ruptura.

Tendo em vista as circunstâncias do processo atual que a soldagem se apresenta, foram propostas as seguintes técnicas de ensaios não destrutivos e destrutivos do cordão de solda:

- Líquido penetrante conforme a norma ASME seção VIII divisão 1 apêndice 8 para soldas de vaso de pressão e tanques de armazenamento. Teve como objetivo detectar poros, cavidade ou fissuras que chegam até a superfície em análise;
- Partículas Magnéticas de acordo com a norma ASTM-E709: Esse ensaio teve como objetivo verificar possíveis trincas ou demais defeitos providos do processo da soldagem;
- Ensaio Mecânicos de Tração baseada na norma ASTM E8M: Por ser um material isotrópico as propriedades elásticas em um plano são independentes da orientação. Foram realizados os ensaios para se retirar a média dos resultados com intuito de se verificar as propriedades mecânicas da junta soldada, estudo do cordão de solda a gás inerte com eletrodo de tungstênio em chapa de aço inox 304 de espessura reduzida e metal base.

A amostra bruta para os corpos de prova é relativa à metade de um tanque, conforme a Figura 2, foi enviada para a Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) para preparação e corte das amostras para a realização dos ensaios não-destrutivos e destrutivos.

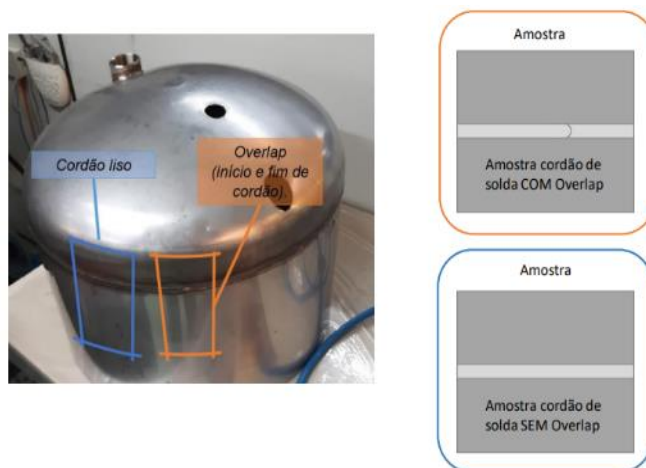


Figura 2 - Amostras do reservatório para ensaios tecnológicos dos materiais (Autor, 2022)

Para os ensaios, foram utilizadas três amostras de cada item abaixo:

- Cordão de solda com overlap (CSCO);
- Cordão de solda sem overlap (CSSO);
- Metal base (MB).

Para o ensaio de líquido penetrante, foram verificadas as descontinuidades superficiais

O ensaio de partículas magnéticas teve como objetivo verificar possíveis trincas ou outros defeitos providos do processo de soldagem. O foco é verificar descontinuidades superficiais e subsuperficiais.

Estevan e Roberto (2014), relatam que o objetivo dos ensaios mecânicos é a verificação da resistência mecânica em tração e outras propriedades mecânicas extraídas das curvas tensão x deformação, de acordo com a solicitação da aplicação, comparando-se o metal de base com a juntas soldadas. O ensaio mecânico de tração consiste na aplicação de uma carga de tração uniaxial em um corpo de prova padronizado em uma máquina universal de ensaios até que ele se rompa. Os ensaios mecânicos de tração foram realizados segundo a norma ASTM E8M, seguindo as recomendações abaixo:

- Medir Carga x Deformação;
- Dimensional da amostra deve ser realizado e padronizado:
 - Espessura do cordão e comprimento;
 - Dimensões da chapa (largura e comprimento);
 - Padronizar distância mordente do cordão.
- Definir velocidade de tração: sugestão 5mm/min.
- Realizar teste com material sem solda nas mesmas dimensões das amostras com cordão;
- Confrontar os dados da chapa soldada COM e SEM overlap e o material sem solda.

As amostras para a realização dos ensaios de tração precisaram ser remodelados e foram fabricados de acordo geometria padrão e as dimensões recomendadas pela norma ASTM E8M-13a (Fig.3).

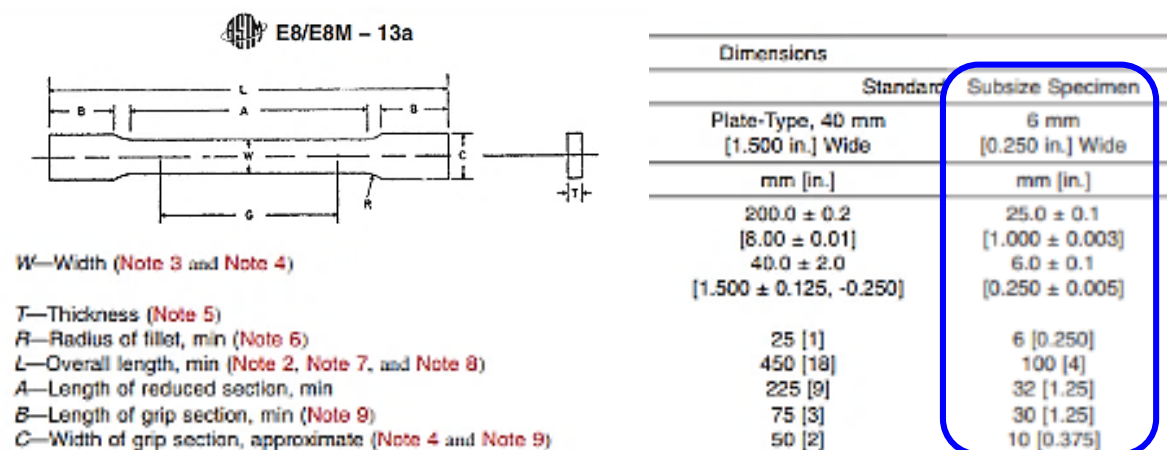


Figura 3 - Desenho esquemático e dimensões recomendadas para as amostras para os ensaios mecânicos de tração uniaxial segundo a norma ASTM E8M-13a, e encontra-se marcado em azul as dimensões mais adequadas pela norma para posicionar os cordões de solda no ponto (norma ASTM E8M-13a, 2022)

Para o processo de elaboração das amostras, foi desenvolvido o projeto do corpo de prova no software Autodesk Inventor v2019. No Software EdgeCam v2021, foi possível fazer uma simulação da peça a ser cortada e gerar a programação CNC. Na máquina de corte a fio por eletroerosão GF AgieCharmilles FL 240 SLP, utiliza-se um fio metálico (eletrodo) para recortar um contorno programado em uma peça de trabalho. Assim, foi inserida a programação para o corte das amostras.

Por conta da pandemia de Covid 19, os ensaios de tração foram realizados no Laboratório de Ensaios Mecânicos da Etec Sylvio de Mattos Carvalho – Matão-SP seguindo as recomendações da norma ASTM E8M. Foi utilizada uma máquina universal de ensaios, Modelo: WDW-300E.

3. RESULTADOS

3.1. Ensaio por Líquido Penetrante

- Corpo de prova do tampo com overlap (Fig.4)
 - Amostra 01 apresentou três pontos de descontinuidade (porosidade);
 - Amostra 02 apresentou dois pontos de descontinuidade (porosidade);
 - Amostra 03 não apresentou nenhuma irregularidade.

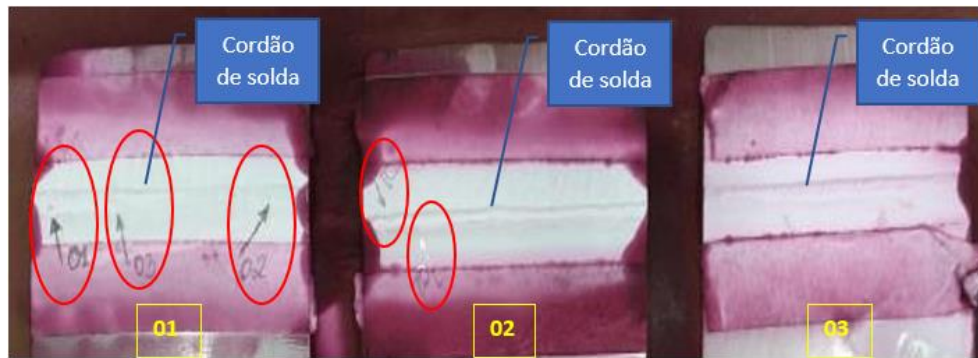


Figura 4 - Corpo de prova do tampo com overlap CSCO LP (Autor, 2022).

b) Corpo de prova tampo sem overlap (Fig.5)

- Amostra 01 não apresentou nenhuma irregularidade;
- Amostra 02 apresentou um ponto de descontinuidade (porosidade);
- Amostra 03 apresentou um ponto de descontinuidade (porosidade).

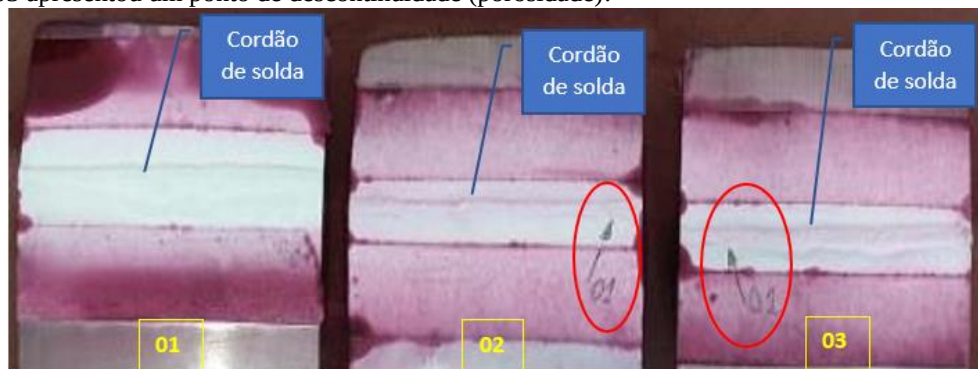


Figura 5 - Corpo de prova tampo sem overlap CSSO – LP (Autor, 2022).

3.1. Ensaio de Partícula Magnética

Todas as amostras apresentaram indicações que sugerem a presença de descontinuidades.

Foi utilizado o método fluorescente úmido, usado com o Yoke e com a luminária de luz UV. Pode-se encontrar falhas bem finas superficiais e/ou ligeiramente subsuperficiais. Todas as descontinuidades superficiais criaram campos de fuga de fluxo magnético que atraíram as partículas magnéticas dando forma às indicações.

a) Corpo de prova do tampo sem overlap (Fig.6)

- Amostra 01 apresentou muitas mordeduras na margem do cordão de solda;
- Amostra 02 apresentou mordeduras ao longo do cordão;
- Amostra 03 apresentou mordeduras ao longo do cordão;

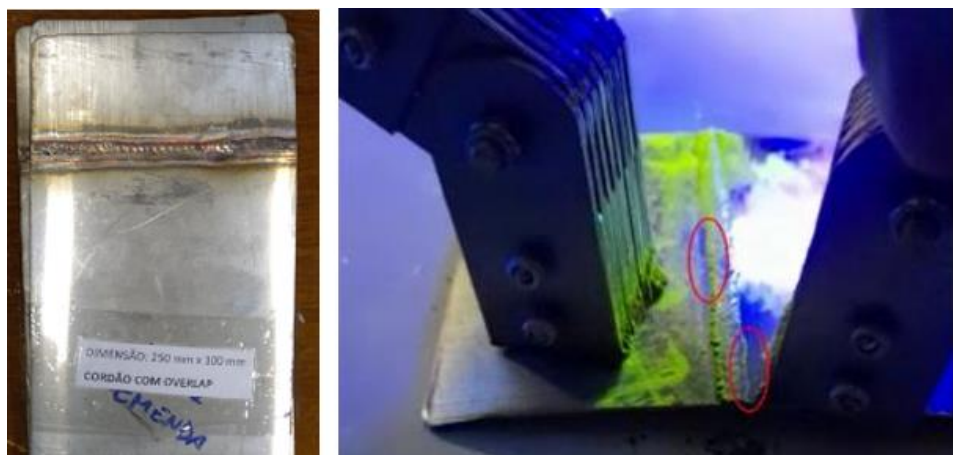


Figura 6 - Corpo de prova tampo com overlap CSSO – PM (Autor, 2022)

b) Corpo de prova tampo com overlap (Fig.7)

- Amostra 01 apresentou mordeduras ao longo do cordão;
- Amostra 02 apresentou mordeduras na margem do cordão de solda;
- Amostra 03 apresentou mordeduras ao longo do cordão;

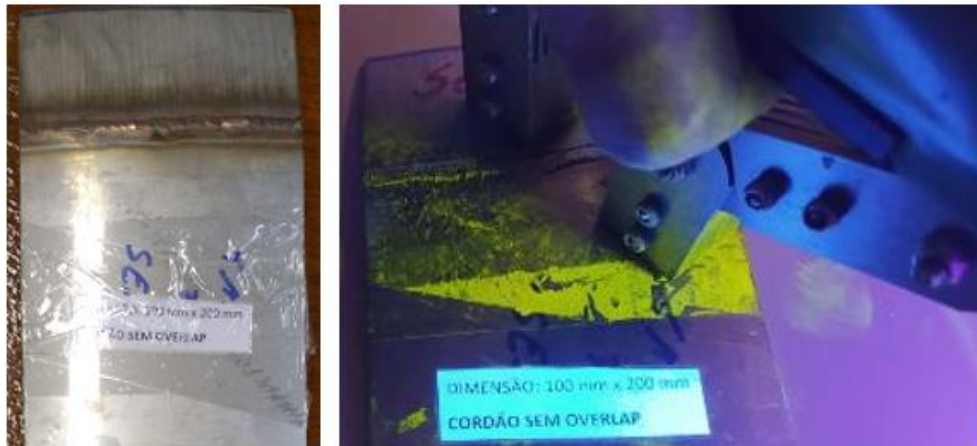


Figura 7 - Corpo de prova tampo sem overlap CSSO – PM (Autor, 2022)

3.2. Ensaio Mecânico de Tração

A seguir serão apresentados os parâmetros de limite de escoamento, limite de resistência e tração de alongamento, antes e depois do ensaio de tração e também as amostras (Fig.8) e o gráfico (Fig.9) da chapa de Metal Base (MB), cordão de solda com overlap (CSCO) e cordão de solda sem overlap (CSSO).



Figura 8 - Amostra de Metal Base (MB), chapa soldada com overlap (CSCO) e chapa soldada sem overlap (CSSO), antes e depois do ensaio de tração (Autor, 2022).

As amostras possuem espessuras diferentes devido ao processo de fabricação dos reservatórios. O corpo do reservatório possui espessura de 1mm e o tampo do reservatório 1,5 mm.

A amostra do Metal Base (MB) que foi retirada da chapa do corpo do reservatório possui 1 mm de espessura. Já as amostras de Cordão de Solda com Overlap (CSCO) e Cordão de Solda sem Overlap (CSSO), no mesmo corpo de prova, de um lado da união da chapa soldada possui 1 mm correspondente ao corpo do reservatório e do outro lado da amostra, a chapa possui 1,5 mm de espessura que corresponde tampo do reservatório. Para o cálculo da área, foi adotada a de menor espessura sendo a chapa de 1 mm e largura 6 mm, ou seja, 6 mm² com intuito de padronizar as medidas das amostras.

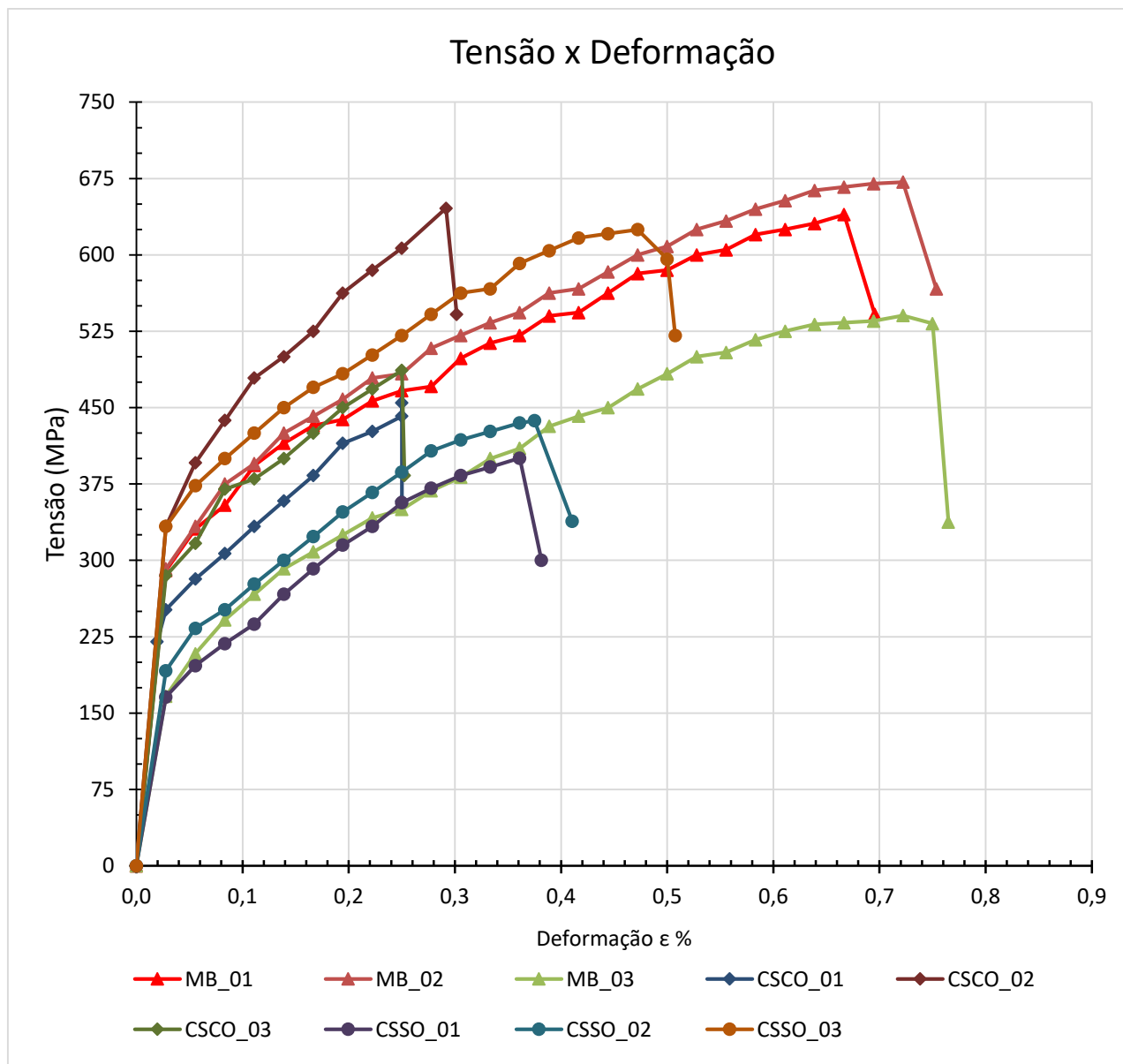


Figura 9 - Curvas e Dados dos Ensaios de Tração - Gráfico – Metal Base, Cordão de Solda c/ Overlap e Cordão de Solda s/ Overlap (Autor, 2023).

Para efeito comparativo, os valores especificados segundo a norma AISI para o Metal Base aço inox 304 laminado possuem os seguintes dados:

- tensão (σ_e) ou limite de escoamento (LE) de 234 Mpa;
- tensão (σ_r) ou limite de resistência (LRT) de 586 Mpa;
- alongamento (%AL) de 60%,

De acordo com os resultados obtidos na Tabela 3, pode observar os seguintes resultados do ensaio mecânico de tração:

- A resistência à tração do MB - Metal de Base (chapa de aço inox 304 laminada de 1 mm de espessura) apresentou os seguintes valores médios:

- a) tensão (f_e) ou limite de escoamento (LE) de 284,6 Mpa;
b) tensão (f_r) ou limite de resistência (LRT) de 617,2 Mpa;
c) alongamento (%AL) de 73,8%,

2) O corpo de prova CSCO - Cordão de Solda com Overlap, possui as seguintes características: chapa de aço inox 304 laminada de 1 mm de espessura no corpo do reservatório e união (solda TIG) na chapa de aço inox 304 laminada de 1,5 mm de espessura no tampo. A resistência à tração do ensaio apresentou os seguintes valores médios:

- a) tensão (f_e) ou limite de escoamento (LE) de 162,3 Mpa;
b) tensão (f_r) ou limite de resistência (LRT) de 352,7 Mpa;
c) alongamento (%AL) de 28,2%.

3) O corpo de prova CSSO - Cordão de Solda sem Overlap, possui as seguintes características: chapa de aço inox 304 laminada de 1 mm de espessura no corpo do reservatório e união (solda TIG) na chapa de aço inox 304 laminada de 1,5 mm de espessura no tampo. A resistência à tração do ensaio apresentou os seguintes valores médios:

- a) tensão (f_e) ou limite de escoamento (LE) de 187,0 Mpa;
b) tensão (f_r) ou limite de resistência (LRT) de 487 Mpa;
c) alongamento (%AL) de 43,3%.

A seguir, a Tabela 3 ilustra o resumo dos parâmetros capturados nos ensaios mecânicos de tração.

Tabela 3 - Parâmetros capturados nos ensaios mecânicos de tração (Autor, 2023).

METAL BASE									
Amostra	t0 (mm)	w0 (mm)	L0 (mm)	Fy (N)	Fu (N)	dL (mm)	LE (MPa)	LRT (MPa)	Al (%)
CP1_MB	1,0	6,0	36,0	1306,2	3837,5	25,0	217,7	639,6	69,6
CP2_MB	1,0	6,0	36,0	1374,7	4029,3	27,1	229,1	671,6	75,4
CP3_MB	1,0	6,0	36,0	2442,0	3243,0	27,5	407,0	540,5	76,5
Média							284,6	617,2	73,8
Desvio padrão							106,2	68,3	3,7

CORDÃO DE SOLDA C/ OVERLAP									
Amostra	t0 (mm)	w0 (mm)	L0 (mm)	Fy (N)	Fu (N)	dL (mm)	LE (MPa)	LRT (MPa)	Al (%)
CP1_CSCO	1,0	6,0	36,0	1320,0	2728,6	10,5	146,8	303,2	29,1
CP2_CSCO	1,0	6,0	36,0	1605,1	3875,1	10,9	178,3	430,6	30,2
CP3_CSCO	1,0	6,0	36,0	1455,4	2919,7	9,1	161,7	324,4	25,3
Média							162,3	352,7	28,2
Desvio padrão							15,8	68,3	2,6

CORDÃO DE SOLDA S/ OVERLAP									
Amostra	t0 (mm)	w0 (mm)	L0 (mm)	Fy (N)	Fu (N)	dL (mm)	LE (MPa)	LRT (MPa)	Al (%)
CP1_CSSO	1,0	6,0	36,0	1211,1	2402,5	13,7	220,2	400,4	38,2
CP2_CSSO	1,0	6,0	36,0	1211,4	2623,2	14,8	178,3	437,2	41,0
CP3_CSSO	1,0	6,0	36,0	1681,6	3748,8	18,3	161,7	624,8	50,8
Média							187	487	43,3
Desvio padrão							30,1	120,3	6,6

4. CONCLUSÃO

Na fabricação vasos de pressão para utilização em aquecedores solar, identificou-se que é necessária uma junta de solda de boa resistência devendo suportar alta resistência à tração. Os resultados obtidos com os testes realizados foram satisfatórios.

No ensaio de líquido penetrante, três amostras de soldagem TIG manual com overlap houve uma dispersão pequena nos resultados. Obteve-se juntas soldadas com porosidade e sem porosidade podendo indicar potenciais pontos de vazamentos no reservatório em questão.

Já nas três amostras do ensaio de líquido penetrante para a soldagem TIG manual sem overlap, o início e fim do cordão carregam uma criticidade com expectativa encontrada de menor porosidade nestas regiões.

O ensaio de partículas magnéticas apresentou nas seis amostras de soldagem TIG manual com e sem overlap, descontinuidades apresentando mordeduras na margem do cordão de solda e mordeduras ao longo do cordão ilustrando uma redução da espessura da junta podendo ocasionar falta de fusão ou de inclusão de escória.

No ensaio de tração, os dados obtidos para o limite de escoamento não tiveram influência por ser um material isotrópico sendo que as propriedades elásticas em um plano são independentes da orientação.

De acordo com os resultados obtidos na Tabela 3, pode-se concluir que a resistência à tração do Metal de Base apresentou os valores médios: limite de escoamento (LE) de 284,6 MPa, ou limite de resistência (LRT) de 617,2 MPa, e alongamento (%AL) de 73,8%, são maiores que os valores o Cordão de Solda com Overlap com valores de limite de escoamento LE = de 162,3 MPa, tensão de resistência (LRT) de 352,7 MPa, e alongamento (%AL) de 28,2%, maiores também que os valores o Cordão de Solda sem Overlap com valores de limite de escoamento LE = de 187,0 MPa, tensão de resistência (LRT) de 487,0 MPa, e alongamento (%AL) de 43,3%

Nas amostras Cordão de Solda com Overlap (CSCO) e Cordão de Solda sem Overlap (CSSO) onde as chapas possuem espessuras diferentes – 1,5 mm para o tampo e 1 mm para o corpo do reservatório, como já era esperado, visualmente a ruptura da chapa ocorreu na espessura menor (1 mm). Por este motivo, foi considerado o valor de tensão da chapa de menor espessura.

Em relação a resistência mecânica a tração, o cordão de solda tem resistência superior a resistência do próprio material comparando os dados dos ensaios de tração. Os dados demonstram que o cordão de solda é resistente a tração sendo superior a resistência do próprio material base.

Desta forma, com os valores analisados pode-se concluir que a solda possui resistência maior que o material da chapa indicando que na região da ZTA da chapa de inox 304 laminada foi alterada, modificando suas propriedades mecânicas e tornando-a mais dúctil, porém dentro dos critérios especificados de vaso de pressão para aplicação em aquecedor solar.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a UFSCar no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEMec), bem como a Equipe do Projeto SOLIS / EMBRAPII / UFSCar pelo apoio a pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

- DEVAKUMAR, D; JABARAJ, DB. Pesquisa sobre soldagem a arco de gás de tungstênio de aço inoxidável - uma visão geral. Revista Internacional de Pesquisa Científica e de Engenharia, v. 5, n. 1, pág. 1612, 2014.
- KUMAR, R; SUNDARA BHARATHI, S R. A Review Study on A-TIG Welding of 316(L) Austenitic Stainless Steel. International Journal of Emerging Trends in Science and Technology, v. 02, n. 03, p. 2066–2072, 2016.
- FARIAS, Evander Luiz Abreu. ENSAIO NÃO DESTRUTIVO POR LÍQUIDO PENETRANTE: APLICADO EM CHAPAS SOLDADAS POR ARAME TUBULAR, ELETRODO REVESTIDO E PROCESSO MIG. 2014. 85 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Construção Naval, Tecnólogo em Construção Naval, Universidade Estadual da Zona Oeste, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://www.uezo.rj.gov.br/tcc/cn/Evander-Luiz-Abreu-Farias.pdf>. Acesso 16 mar. 2022.
- GARCIA, A.; Spim, AJ.; Santos, AC. Ensaios dos Materiais. 2ªEd. Rio de Janeiro: CLT, 2012.
- GHADI, Gurudatt; S., Dr. Shivakumar. Análise dos Parâmetros do Processo de Soldagem TIG para Aços Inoxidáveis (SS202). Jornal Internacional de Pesquisa e Ciência de Engenharia Avançada, v. 3, n. 10, pág. 66–70, 2016. <https://doi.org/10.22161/ijaers/3.10.13>.
- PAIS FILHO, Estevam Ferreira; FUJYAMA, Roberto Tetsuo. Análise comparativa em ensaios não destrutivos por líquido penetrante em peças usadas e novas: Influência da execução das etapas de limpeza prévia e remoção do líquido penetrante. Revista abendi, São Paulo, edição 63, ano VIII, 2014.
- ZHU, Min; WU, Wei; QIAN, Weifang; XIA, Liqian; ZHANG, Yansong; WANG, Baosen. A brief review on welding of stainless steel clad plates: issues and future perspectives. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 115, n. 1–2, p. 49–59, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07218-9>.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

DESTRUCTIVE AND NON-DESTRUCTIVE TESTS ON INERT GAS WELDING BEAD WITH TUNGSTEN ELECTRODE IN THE MANUFACTURE OF TANKS FOR SOLAR HEATER WITH REDUCED PLATE THICKNESS

Edgar Bergo Coroa
Sandro Querubim

Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, Graduate Program in Mechanical Engineering (PPGEMec), Surface Engineering – São Carlos, SP, Brazil.
edgar.coroa@estudante.ufscar.br
sandro.cherubim@estudante.ufscar.br

Luis Antonio Oliveira Araujo

Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, Graduate Program in Mechanical Engineering (PPGEMec), Surface Engineering – São Carlos, SP, Brazil.
luis.araujo@ufscar.br

Abstract. Inert gas welding processes with tungsten electrode (TIG) are widely used to join metallic materials of different thicknesses, such as stainless steel. These are processes used in different segments of the industry, highlighting in the metallurgical area the linear and circumferential welding in pressure vessels applied in the solar heating system. Metallic tanks used for water storage are generally made of 304 or 316L stainless steel plates, calendered and welded using the TIG process. TIG welding parameters such as arc length, welding speed, gas flow and welding current are critical, influencing process characteristics such as: joint quality, profitability, welding cost, etc. Scientific articles from journals in the area of mechanical engineering, materials and welding metallurgy were reviewed. The main focus was to seek information about methods, processes and analyzes through material tests for characterizations of manual TIG welding in thin stainless steel plates. The main objective of this research is to develop an evaluation methodology through the characterization of the weld beads between the body and tops (manual welding) of pressure vessels.

Keywords: Pressure vessel. Thin plates. Stainless steels. Essay. Welding parameters.

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.