A INFLUÊNCIA DOS TEORES DE NÍQUEL NOS ELETRODOS AWS 5.18 ER80S-NI2 + AWS 5.9 E8018C1 E AWS 5.9 ER70S-3 + AWS 5.9 E7018-1 EM JUNTAS SOLDADAS DE AÇO ASTM-A516 GR70 COM REQUISITO H2S

THE INFLUENCE OF NICKEL CONTENTS ON AWS ELECTRODES 5.18 ER80S-NI2 + AWS 5.9 E8018C1 E AWS 5.9 ER70S-3 + AWS 5.9 E7018-1 IN ASTM-A516 GR70 STEEL WELDED JOINTS WITH H2S REQUIREMENT

Paulo Henrique de Oliveira[I]
Wesley Ferreira Gonçalves[II]
Antonio Carlos Muniz Ventura Junior[III]
Maria Aparecida Bovério[IV]

RESUMO

Esse trabalho tem como objetivo apresentar os resultados de soldabilidade em um projeto de fabricação de um vaso de pressão para trabalho com H2S-, fabricado em material ASTM A 516 Gr 70, aplicando os processos de soldagem combinados *GTAW* e *SMAW*, a uma determinada pressão e temperatura. Sendo assim, propôs-se utilizar a combinação dos consumíveis AWS ER80S-NI2 + E8018C1 e AWS ER70S-3 + E7018-1, que são a base de níquel e, após soldagem, realizar os ensaios mecânicos e posteriormente, retirar corpos de prova conforme a norma ASME XI e procedimentos internos do cliente, para análise de microestrutura, dureza no metal de solda e zona afetada pelo calor (ZTA), ensaios mecânicos dobramento tração, ensaio de impacto a -45°C, dobramento e análise química da zona fundida. Os resultados demonstraram que a adição do elemento níquel no consumível de solda atua na sanidade da junta de solda, proporcionando as características de propriedades e desgaste no conjunto soldado do equipamento vaso de pressão. Após análise dos resultados obtidos com os ensaios de tração, dureza, e ensaio de impacto, atenderam aos requisitos de projeto e os especificados pela norma ASME IX 2015 e NACE MR175-2.

Palavras-chave: Níquel. Vaso de Pressão. Soldagem.

ABSTRACT

This work aims to present the results of weldability in a project to manufacture a pressure vessel to work with H2S-, manufactured in material ASTM A 516 Gr 70, applying the combined welding processes GTAW and SMAW, at a given pressure and temperature. Therefore, it was

[I] Estudante do curso superior de Tecnologia em Mecânica: processos de soldagem da Faculdade de Tecnologia Deputado Waldyr Alceu Trigo de Sertãozinho (Fatec-Stz) – São Paulo – Brasil. E-mail: paulohenrique_gptelecom@hotmail.com

[II] Estudante do curso superior de Tecnologia em Mecânica: processos de soldagem da Faculdade de Tecnologia Deputado Waldyr Alceu Trigo de Sertãozinho (Fatec-Stz) – São Paulo – Brasil. E-mail: wesleyjuninho10@hotmail.com

[III] Prof. Esp./mestrando da Faculdade de Tecnologia Deputado Waldyr Alceu Trigo de Sertãozinho (Fatec-Stz) – São Paulo – Brasil. E-mail: acm.ventura@gmail.com

[IV] Prof. Dra. Faculdade de Tecnologia Deputado Waldyr Alceu Trigo de Sertãozinho (Fatec-Stz) – São Paulo – Brasil. E-mail: maria.boverio@fatec.sp.gov.br

proposed to use the combination of consumables AWS ER80S-NI2 + E8018C1 and AWS ER70S-3 + E7018-1, which are nickel-based and, after welding, perform the mechanical tests and later, remove specimens as the ASME XI standard and internal customer procedures, for microstructure analysis, hardness in the weld metal and heat-affected zone (ZTA), bending tensile mechanical tests, impact test at -45 ° C, bending and chemical analysis of the molten zone. The results showed that the addition of the nickel element in the welding consumable acts in the sanity of the welding joint, providing the properties and wear characteristics in the welded set of the pressure vessel equipment. After analyzing the results obtained with the tensile, hardness and impact tests, they met the design requirements and those specified by ASME IX 2015 and NACE MR175-2.

Keywords: Nickel. Pressure Vessel. Welding.

Data de submissão do artigo: 13/08/2020.
Data de aprovação do artigo: 04/11/2020.
DOI: 10.33635/sitefa.v3i1.106

1 INTRODUÇÃO

Os vasos de pressão designam todos os recipientes estanques, de qualquer tipo, dimensões, formato ou finalidade, capazes de conter um fluido pressurizado. Dentro de uma definição tão abrangente inclui-se uma enorme variedade de equipamentos, desde uma simples panela de pressão de cozinha até os mais sofisticados reatores nucleares. Os vasos de pressão são muito utilizados no segmento de petróleo e gás e são fabricados conforme as normas de fabricação *American Society of Mechanical Engineers* (ASME), seção VIII, divisão I, que por sua vez estabelecem parâmetros e práticas já consolidadas desde a matéria prima até a concepção final do produto, que inclui importantes requisitos para a soldagem das partes fabricadas (TELLES, 2009).

A seleção e especificação dos materiais adequados para cada serviço é frequentemente um dos problemas mais difíceis que se tem para resolver em um projeto de vaso de pressão. Existem fatores que influenciam a seleção de um material, entretanto alguns podem ser conflitantes, por exemplo, fazer a relação de custo-benefício e a facilidade de acesso a esse material.

As características a serem consideradas na escolha do material são: condições de serviço (pressão temperatura de operação), nível de tensão do material, natureza de esforços mecânicos, fluído contido, facilidade de fabricação e de montagem, forma de apresentação do material, custos do material etc.

A escolha do metal de base ASTM-A516 Gr.70 é destinado a caldeiras e vasos de média e alta pressão. Os aços estruturais voltados para aplicação em vasos de pressão, e caldeiras são classificados conforme sua faixa de resistência mecânica e as condições de temperatura, e pressão de trabalho (ASTM A516, 2015).

A principal propriedade desses aços é a versatilidade de desempenho quanto a temperatura de uso, pode-se solicitar testes adicionais para níveis de ensaios de impacto a baixa temperatura, tração a alta temperatura, dobramento e outros mais específicos em função da aplicação final.

No processo de solda foi utilizada a combinação *GTAW/SMAW* com os consumíveis (ER80S-NI2 + E8018C1 e ER70S-3 + E7018-1) e, após a execução do processo de soldagem,

foi feita a comparação da porcentagem de teores de níquel com o metal de base e foi analisado o comportamento mecânico, físico e químico em condições de trabalho (pressão a baixa temperatura e contato com fluido H2S). Sendo assim, as escolhas das melhores práticas e dos consumíveis de soldagem utilizados em um projeto de fabricação de vasos de pressão, com requisitos em H2S e com temperaturas de impacto -45°C, são de extrema importância. Há, portanto, a necessidade de se garantir, nessas uniões soldadas, os melhores comportamentos físico, químico e mecânico quando elas forem solicitadas em serviços (por exemplo: resistência mecânica mínima, resistência ao choque, resistência a determinado nível de pressão interna ou externa, resistência à corrosão, resistência ao desgaste etc.). Os tipos de solicitações mecânicas e suas respectivas intensidades predominantes variam conforme a natureza do equipamento que será construído (por exemplo: estrutura metálica, tanque, vaso de pressão etc.).

Portanto, essa pesquisa científica-tecnológica tem como objetivo principal analisar os processos de fabricação realizados em um projeto de vaso de pressão, por meio do desenvolvimento de técnicas e melhorias, fazendo a escolha do melhor consumível de soldagem a ser utilizado durante o desenvolvimento da pesquisa, com relação a porcentagem e o comportamento do elemento de liga níquel, para atender aos padrões e normas exigidos no cumprimento das atividades.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Em 1911 o código de caldeiras e recipientes sob pressão ASME foi concebido por um grupo de engenheiros mecânicos que participavam da ASME. A regulamentação das Inspeções em Vasos de pressão teve como finalidade proteger os operadores logo após a concepção da máquina a vapor no final do século XVIII. No século XIX, havia literalmente milhares de explosões de caldeiras nos Estados Unidos e na Europa, alguns dos quais resultou em muitas mortes. Sem dúvida, uma das falhas mais importantes que provaram a necessidade de leis para Caldeira foi a explosão que ocorreu na fábrica de sapatos Grover em Brockton, Massachusetts em 10 de março de 1905. O incidente resultou em 58 mortes e 117 feridos e nivelou completamente a fábrica. Essa catástrofe chamou a atenção para a necessidade de proteger o público contra tais acidentes com equipamentos de acúmulo de pressão (WAGNER, 2015).

O código ASME tem como objetivo contribuir e desenvolver técnicas aprimorando processos de soldagem voltadas à fabricação de recipientes estanques, utilizados nos mais diversos setores responsáveis por grande parte do desenvolvimento social e econômico do país e, também, de grande impacto e responsabilidade ambiental, tais como: geração de energia, indústria alimentícia, farmacêutica, petrolífera, mineração, papel e celulose entre outros. A importância de aprimorar técnicas e métodos utilizados em nível de fabricação é a de entender os pontos críticos que influenciam na qualidade e eficiência de trabalho desses equipamentos. Portanto, a escolha do processo de soldagem utilizado em um projeto pode se tornar um desses pontos críticos citados anteriormente, a partir do momento em que não se atende corretamente às normas exigidas e padrões de qualidade comprometendo a qualidade do equipamento em função de um processo mal executado (TELLES, 2009).

Fazer a relação entre metal base e metal de adição utilizado na união de componentes soldáveis nos vasos de pressão se torna um problema quando não são atendidas as especificações corretas previstas em normas, fugindo dos padrões de exigências das propriedades físicas, químicas e mecânicas que são responsáveis pelo comportamento dos materiais a nível microestrutural (TELLES, 2009).

O objetivo especifico dessa pesquisa é o de analisar o comportamento dos consumíveis (ER80S-NI2 + E8018C1 e ER70S-3 + E7018-1) após a execução de um processo de soldagem fazendo a comparação da porcentagem de teores de níquel com metal base e analisando o comportamento mecânico, físico e químico em condições de trabalho (pressão, baixa temperatura e contato com fluido H2S). Todo processo que envolve a união de dois materiais por meio de fusão segue de uma série de exigências e normas para execução.

Portanto, a escolha correta dos consumíveis de soldagem é imprescindível para que se tenha sucesso na realização (TELLES, 2009).

Para categorizar um consumível de soldagem deve-se considerar suas características físicas, químicas e mecânicas. Ligas resistentes a corrosão são utilizadas frequentemente para construção de equipamentos na indústria química siderúrgica ou petrolífera e, com base nesse conhecimento, pode-se afirmar que algumas das características e comportamentos dos materiais estão ligadas a diversos fatores como: escolha do processo de soldagem, escolha do metal base e metal de adição compatibilidade química, física e mecânica, sendo que todos eles são responsáveis por sua eficiência em condições de fabricação e trabalho (TELLES, 2009).

2.1 Vasos de Pressão

Os vasos de pressão designam todos os recipientes estanques, de qualquer tipo, dimensões, formato ou finalidade, capazes de conter um fluido pressurizado. Dentro de uma definição tão abrangente inclui-se uma enorme variedade de equipamentos, podendo ser sujeitos ou não a chama e, como o próprio nome indica, vasos onde há ou não a presença de fogo, embora os não sujeitos à chama possam em muitos casos trabalhar em elevadas temperaturas (TELLES, 2009).

2.2 Materiais para vasos de pressão

A seleção e especificação dos materiais adequados para cada serviço é frequentemente um dos problemas mais difíceis que se tem para resolver em um projeto de vaso de pressão. Existem fatores que influenciam a seleção de um material, entretanto alguns podem ser conflitantes, por exemplo, fazer a relação de custo-benefício e a facilidade de acesso a esse material.

As características a serem consideradas na escolha do material são: condições de serviço (pressão temperatura de operação), nível de tensão do material, natureza de esforços mecânicos, fluído contido, facilidade de fabricação e de montagem, forma de apresentação do material, custos do material, etc. (TELLES, 2009).

2.3 Condições de operação de vasos de pressão

O material tem de ser capaz de resistir à pressão em toda faixa possível de variação e temperatura. É importante observar que todos os fatores relativos ao serviço (fluido contidos, com suas pressões, temperaturas, propriedades) são em geral variáveis ao longo do tempo, isto é, tem-se, frequentemente uma série de valores considerados normais, ou de regime, e uma faixa às vezes ampla de variação de valores inclusive para condições anormais ou eventuais que possam ocorrer. Nota-se, também, que as propriedades mecânicas e de resistência a corrosão dos materiais, bem como as propriedades dos fluídos, sofrem grandes variações em função da temperatura (TELLES, 2009).

2.4 Metal Base A516 Gr70

O metal de base aço carbono ASTM- A516 Gr.70 é destinado a caldeiras e vasos de média e alta pressão. Os aços estruturais voltados para aplicação em vasos de pressão, e caldeiras são classificados conforme sua faixa de resistência mecânica e as condições de temperatura e pressão de trabalho. A principal propriedade desses aços é a versatilidade de desempenho quanto a temperatura de uso, e pode-se solicitar testes adicionais para níveis de ensaios de impacto a baixa temperatura, tração a alta temperatura, dobramento e outros mais específicos em função da aplicação final (ASTM A516, 2015).

2.5 Processo soldagem

A soldagem e o mais importante processo de união de metais utilizado na indústria. Esse método de união, considerado em conjunto com a brasagem, tem importante aplicação desde a indústria microeletrônica até a fabricação de outras estruturas com centenas de toneladas de peso.

A soldagem a arco com eletrodo de tungstênio e proteção gasosa (*Gas Tungsten Arc Welding – GTAW*) é um processo no qual a união de peças metálicas é produzida pelo aquecimento e fusão dessas através de um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo de tungstênio, não consumível, e as peças a unir. A proteção da poça de fusão e do arco contra a contaminação pela atmosfera é feita por uma nuvem de gás inerte ou mistura de gases inertes. A soldagem pode ou não ser feita com adição de metal de adição e, quando usada, é feita diretamente na poça de fusão (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2014).

A soldagem a arco com eletrodos revestidos (*Shielded Metal Arc Welding - SMAW*) é um processo que produz a coalescência entre metais pelo aquecimento desses com um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo metálico revestido e a peça que está sendo soldada. O eletrodo revestido consiste em uma vareta metálica, chamada alma trefilada ou fundida, que conduz a corrente elétrica e fornece metal de adição para enchimento da junta. A alma é recoberta por uma mistura de diferentes materiais. Esse revestimento tem diversas funções, principalmente na soldagem (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2014).

2.6 Consumíveis

De acordo com a definição consumíveis de soldagem são todos os materiais empregados na deposição ou proteção da soldagem, tais como: eletrodos revestidos, varetas, arames sólidos (eletrodo nus) e arames (eletrodo) tubulares, fluxos, gases e anéis consumíveis.

A seleção dos consumíveis depende, principalmente, do processo de soldagem que, por sua vez é escolhido em função do metal de base, geometria e tipo de junta, espessura da peça a ser soldada, posição de soldagem, tipo de fonte de energia, produtividade, habilidade do soldador, etc. (FBTS, 2014).

Os consumíveis utilizados nessa pesquisa são: AWS 5.28 ER80S-Ni2 e o ER70S3 para o processo *GTAW* e AWS 5.5 E8018-C1 e o E7018-1 para o processo *SMAW*.

2.7 Gás H2S

O gás H2S é também conhecido por Gás Sulfídrico, Gás de Ovo Podre, Gás de Pântano etc. Pode originar-se de várias fontes e, muitas vezes, são resultantes de processos de

biodegradação, como por exemplo, a decomposição de matéria orgânica vegetal e animal. Esse gás já foi o responsável por diversos acidentes, sendo alguns deles fatais, pois é extremamente tóxico e inflamável, exigindo vigilância permanente e um plano de controle de emergência específico. Os efeitos de intoxicação com esse gás são sérios, similar aos do monóxido de carbono, porém, mais intensos, e podem permanecer por um longo período podendo causar danos permanentes. Esse gás tóxico paralisa o sistema nervoso que controla a respiração, incapacitando os pulmões de funcionar, provocando a asfixia (CESAR, 2004).

2.8 Ensaios não destrutivos

Ensaios não destrutivos (END) são técnicas utilizadas na inspeção de materiais e equipamentos sem danificá-los, sendo executadas nas etapas de fabricação, construção, montagem e manutenção, e estão entre as principais ferramentas do controle da qualidade de materiais e produtos. Eles contribuem para a qualidade dos bens e serviços, redução de custo, preservação da vida e do meio ambiente, sendo fator de competitividade para as empresas que os utilizam (ABENDI, 2018).

Os ensaios aplicados na fabricação e nas juntas de soldas em vasos de pressão são: visual, dimensional, líquido penetrante, partícula magnética, ultrassom e principalmente radiografia.

2.9 Ensaios mecânicos

Os ensaios mecânicos são métodos utilizados para medir uma série de fatores com o objetivo de entender o comportamento do material com que se trabalha. Isso é feito por meio da análise de suas propriedades mecânicas em várias condições de uso. Geralmente esses ensaios são destrutíveis, pois promovem a ruptura ou a inutilização do material. Na categoria dos ensaios destrutivos, estão classificados os ensaios de tração, dobramento, flexão, torção, fadiga, impacto, compressão, dureza e outros (SOUZA, 2015).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os experimentos foram realizados no laboratório de ensaios mecânicos, de metalografia, de tratamento térmico e de corrosão da *QualyService* de Sertãozinho - SP - Brasil.

3.1 Materiais

Os materiais utilizados foram a máquina de corte do material HyPerformance Plasma HPR260'' XD'', metal base aço carbono ASTM- A516 Gr.70, metal de adição AWS 5.28 ER80S-Ni2, ER70S3, e E7018-1, máquina de Solda Bambozzi 430 A, máquina de ensaio de tração, Fabricante Losenhausen, Modelo UPB-20, paquímetro Universal Mitutoyo, prensa hidráulica Marcon Modelo MPH- 15S, máquina Universal de Impacto Charpy Pananbra Zwick Roell, modelo Pam 300JB, durômetro Vickers marca Microteste, modelo 3212B, tratamento térmico localizado com aquecimento através de meio resistivo com registrador modelo PHE e termopar tipo K. As Tabelas 1, 2 , 3 e 4 representam as composições químicas e propriedades dos consumíveis de solda.

Tabela 1 - Composição química dos consumíveis de soldagem

Consumível	C	Cu	Mn	Ni	P	S	Si	Al	V	Mo	Outros
ER80S-Ni2	0,085	0,140	1,060	2,3	0,007	0,005	0,540	--	--	--	0,115
ER 70S-3	0,069	0,009	1,166	0,012	0,009	0,010	0,549	0,001	0,004	0,001	

Fonte: certificado Esab e Kestra (2020)

Tabela 2 - Propriedade mecânica dos consumíveis de soldagem

Consumível	Resistência a Tração (MPa)Tensile Streght	Limite Escoamento (Mpa) Yield Streght	Alongamento(%) Elongation
ER 80S-Ni2	550 Mim	470 Mim	24%
ER 70S-3	480 Min	400 Mim	22%

Fonte: certificado Esab e Kestra (2020)

Tabela 3 - Composição química dos consumíveis de soldagem

Consumível	C	Cr	Mn	Ni	P	S	Si	Al	V	Mo	AndereE
E8018-C1	0,032	---	0,856	2,386	0,014	0,012	0,543	---	---	---	0,200
E7018-1	0,073	0,037	1,060	0,017	0,017	0,012	0,290	---	0,002	0,003	---

Fonte: certificado Esab e Bohler (2020)

Tabela 4 - Propriedade Mecânica dos consumíveis de soldagem

Consumível	Resistencia a Tração (MPa)Tensile Streght	Limite Escoamento (Mpa) Yield Streght	Alongamento (%) Elongation
E8018-C1	576 Mim	505 Mim	27%
E7018-1	535 Min	465 Mim	31%

Fonte: certificado Esab e Bohler (2020)

As Tabelas 5 e 6 representam a composição química e propriedades do metal de base.

Tabela 5 - Composição química do metal de base

Metal Base	C	Cu	Mn	Ni	P	S	Si	NB	V	Mo	Cr
SA516-70	0,171	0,208	1,16	0,351	0,007	0,001	0,329	0,001	0,001	0,016	0,027

Fonte: certificado Dillinger hutte (2020)

Tabela 6 - Propriedade mecânica do metal de base

Metal Base	Resistencia a Tração (MPa)Tensile Streght	Limite Escoamento (Mpa) Yield Streght	Alongamento (%) Elongation
SA516-70	485 - 620	260 Mim	21% Mim

Fonte: certificado Dillinger hutte (2020)

A dureza do ASTM A516-70 é: 142 HB.

3.2 Métodos

Com desenvolvimento da pesquisa, um programa de ensaios foi estabelecido de forma a avaliar o comportamento físico, químico e mecânico dos consumíveis. Foram realizados os cortes para preparação dos CP1 e CP2. Após corte do material eles foram submetidos aos processos de soldagem, CP1 metal de adição AWS 5.28 ER80S-Ni2 e o AWS 5.5 E8018-C1 soldado com processo GTAW, SMAW e CP2 metal de adição AWS 5.18 ER70S-3, e o AWS 5.1 E7018-1 soldado com processo GTAW, SMAW. O metal de base utilizado para CP1 e CP2 foi o aço carbono ASTM- A516 Gr.70.

Após a soldagem e realização do ensaio visual de solda (EVS) os corpos de provas foram enviados para tratamento térmico.

O tratamento de alivio de tensões executado no CP1 Material: ASTM A516 GR. 70 (Espessura: 45,0mm); Consumíveis: (ER80S-Ni2 GTAW) (E8018-C1 SMAW); a temperatura de início de controle acima de 425°C e temperatura de patamar entre 620 a 640°C permanecendo no mínimo 2 horas, com taxa de aquecimento 112°C /h máximo e taxa de resfriamento de 142°C /h máximo.

O tratamento de alivio de tensões aplicado a CP2 Material: ASTM A516 GR. 70 (Espessura: 45,0mm); consumíveis: (ER70S-3 GTAW) (E7018-1 SMAW) a temperatura de início de controle acima de 425°C e temperatura de patamar 630°C permanecendo por 2h e 10 minutos, com taxa de aquecimento 89°C /h máximo e taxa de resfriamento de 89°C /h máximo.

Na sequência foram realizados os ensaios mecânicos:

- Ensaio de tração, conforme ASME Secção IX Edição 2013 QW- 462.1 (d). Os ensaios de tração foram realizados à temperatura ambiente de 23°C.
- Ensaio de Dobramento Guiado, conforme ASME Secção IX Edição 2013 QW-462.2 (d). Ensaio realizado a temperatura de 22°C.
- Ensaio de Impacto de Charpy foi realizado conforme ASME Secção IX Edição 2013, temperatura do ambiente 20°C e temperatura de ensaio – 46 °C.
- Ensaio de dureza Vickers foi realizado conforme Petrobras N-133 REV L em temperatura de 22°C.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos ensaios são apresentados a seguir: de tração, dobramento, impacto dureza e tratamento térmico.

4.1 Ensaio de tração

- Conforme norma ASME IX Edição 2013.
- Corpo de prova: CP-01
- Material: ASTM A516 GR. 70 (Espessura: 45,0mm)
- Consumíveis: (ER80S-Ni2 GTAW) (E8018-C1 SMAW).

A Tabela 7 apresenta os resultados do ensaio de tração.

Tabela 7 – Resultados do ensaio de tração, CP 01

CPs	Ø (mm)	Área (mm²)	Força Máxima (N)	Limite de Resistência (Mpa)	Local da Fratura / Tipo
TR01	12,62	125,09	64361	515	Solda / Ductil
TR02	12,58	124,29	63474	511	Solda / Ductil
TR03	12,65	125,68	64380	512	Solda / Ductil
TR04	12,49	122,52	59776	488	Solda / Ductil

Fonte: os autores (2020)

- Ensaio de tração – Conforme norma ASME IX Edição 2013.
- Corpo de prova: CP-02
- Material: ASTM A516 GR. 70 (Espessura: 45,0mm)
- Consumíveis: (ER70S-3 GTAW) (E7018-1 SMAW).

A Tabela 8 apresenta os resultados de tração.

Tabela 8 – Resultados do ensaio de tração, CP 02

CP's	Ø (mm)	Área (mm²)	Força Máxima (N)	Limite de Resistência (Mpa)	Local da Fratura / Tipo
TR01	12,66	125,88	61956	492	Metal Base / Ductil
TR02	12,65	125,68	61054	486	Metal Base / Ductil
TR03	12,80	128,68	63092	490	Metal Base / Ductil
TR04	12,66	125,88	61346	487	Metal Base / Ductil

Fonte: os autores (2020)

Os resultados obtidos com ensaio de tração quanto para CP1 e CP2 atendem as especificações das tabelas de propriedades mecânicas dos consumíveis.

4.2 Ensaio de dobramento

- Ensaio de Dobramento Guiado – Conforme norma ASME IX Edição 2013.
- Corpo de prova: CP-01
- Material: ASTM A516 GR. 70 (Espessura: 45,0mm)
- Consumíveis: (ER80S-Ni2 GTAW) (E8018-C1 SMAW).

A Tabela 9 apresenta os resultados de dobramento.

Tabela 9 – Resultados do ensaio de dobramento, CP 01

CP's	Tipo de Dobramento	Identificação e dimensões das descontinuidades
DL01	Transversal Lateral	Isento
DL02	Transversal Lateral	Isento
DL03	Transversal Lateral	Isento
DL04	Transversal Lateral	Isento

Fonte: os autores (2020)

- Ensaio de Dobramento Guiado – Conforme norma ASME IX Edição 2013.
- Corpo de prova: CP-02
- Material: ASTM A516 GR. 70 (Espessura: 45,0mm)
- Consumíveis: (ER70S-3 GTAW) (E7018-1 SMAW).

A Tabela 10 apresenta os resultados de dobramento.

Tabela 10 – Resultados do ensaio de dobramento, CP 02

CP's	Tipo de Dobramento	Identificação e dimensões das descontinuidades
DL01	Transversal Lateral	Isento
DL02	Transversal Lateral	Isento
DL03	Transversal Lateral	Isento
DL04	Transversal Lateral	Isento

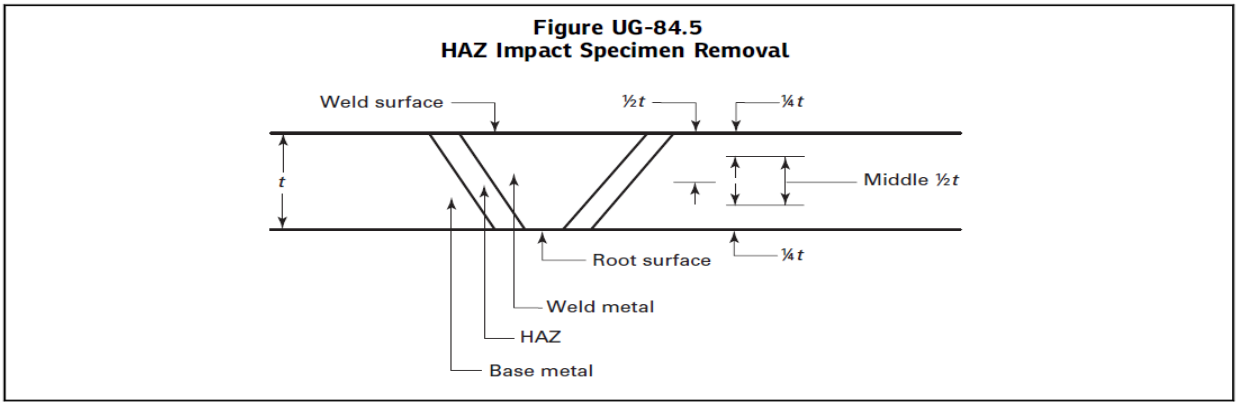
Fonte: os autores (2020)

Os resultados obtidos através do ensaio de dobramento atendem as especificações, portanto apresentaram uma boa dutibilidade para os esforços empregados.

4.3 Ensaio de impacto

A retirada dos corpos de prova de impacto *Charpy* dos CP 1 e CP 2 estão representadas na Figura 1.

Figura 1 - Localização de retirada dos corpos de provas conforme figura UG-84.5



Fonte: Norma ASME, UG-84.5 (2013)

- Ensaio de Impacto de *Charpy* – Conforme norma (ASME IX Edição 2013).
- Corpo de prova: CP-01
- Material: ASTM A516 GR. 70 (Espessura: 45,0mm)
- Consumíveis: (ER80S-Ni2 GTAW) (E8018-C1 SMAW).

A Tabela 11 apresenta os resultados de ensaio de impacto *Charpy*.

Tabela 11 – Resultados do ensaio de impacto, CP 01

SET	Resultados dos Testes (Joules)			Média (Joules)	Dimensões (mm)	Temperatura (°c)
	CP 01	CP 02	CP03			
ZTA – 1/2	62	50	46	52,66	10 x 10 x 55	- 46°C
ZTA – 1/4	128	56	136	106,67	10 x 10 x 55	- 46°C
Solda 1,5 mm da Superfície	132	128	134	131,33	10 x 10 x 55	- 46°C
Solda ¼ da Superfície	60	60	28	49,33	10 x 10 x 55	- 46°C

Fonte: os autores (2020)

- Ensaio de Impacto de Charpy – Conforme norma ASME IX Edição 2013.
- Corpo de prova: CP-02
- Material: ASTM A516 GR. 70 (Espessura: 45,0mm)
- Consumíveis: (ER70S-3 GTAW) (E7018-1 SMAW).

A Tabela 12 apresenta os resultados de ensaio de impacto *Charpy*.

Tabela 12 – Resultados do ensaio de impacto, CP 02

SET	Resultados dos Testes (Joules)			Média (Joules)	Dimensões (mm)	Temperatura (°c)
	CP 01	CP 02	CP03			
ZTA – 1/2	150	134	90	125	10 x 10 x 55	- 46°C

ZTA – 1/4	134	153	110	132	10 x 10 x 55	- 46°C
Solda 1,5 mm da Superfície	29	30	35	31	10 x 10 x 55	- 46°C
Solda ¼ da Superfície	33	37	29	33	10 x 10 x 55	- 46°C

Fonte: Norma ASME, UG-84.5 (2013)

O resultado do ensaio de impacto do CP-01 apresentou um resultado menor na ZTA que o do CP-02 em função da menor tenacidade. Na solda, o corpo de prova CP-01 obteve maior tenacidade comparado com o CP-02.

4.4 Ensaios de Dureza

- Ensaio de Dureza Vickers – Conforme Petrobras N-133 REV – Figura B.1
- Corpo de prova: CP-01
- Material: ASTM A516 GR. 70 (Espessura: 45,0mm)
- Consumíveis: (ER80S-Ni2 GTAW) (E8018-C1 SMAW).

A Tabela 13 apresenta os resultados de ensaio de dureza no metal de base.

Tabela 13 - Resultados obtidos

Material	Localização	Ponto	Linha S	Ponto	Linha I
ASTM A516 Gr 70	Metal Base	1	143	1	145
	Zona Termicamente Afetada	2	165	2	163
		3	168	3	165
		4	168	4	163
Não Declarado		5	151	5	153
		6	156	6	156
ASTM A516 Gr 70	Zona Termicamente Afetada	7	158	7	158
		8	163	8	164
		9	163	9	164
	Metal Base	10	152	10	148

Fonte: os autores (2020)

Figura 02 - Desenho com a localização dos ensaios

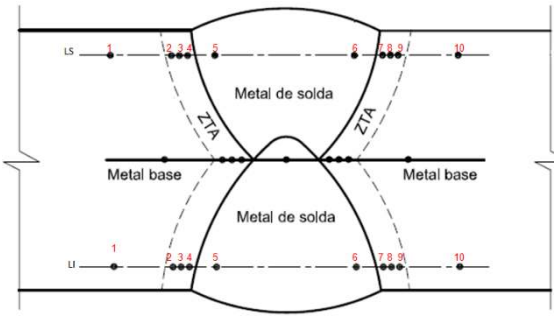




Foto sem escala

Fonte: os autores (2020)

- Ensaio de Dureza Vickers HV5 – Conforme norma NACE MR0175/ISO

- Corpo de prova: CP-02
- Material: ASTM A516 GR. 70 (Espessura: 45,0mm)
- Consumíveis: (ER70S-3 GTAW) (E7018-1 SMAW).

A Tabela 14 apresenta os resultados de ensaio de dureza na junta de solda e a Figura 3 representa a localização dos ensaios de dureza.

Tabela 14 - Resultados obtidos

Material	Localização	Local	Valor HV5
ASME SA516Gr70	Metal Base	1	150
	Zona Termicamente Afetada	2	173
		3	170
		10	177
		11	168
		17	174
	Metal Base	9	152
Solda		4	165
		5	167
		18	163
		12	164
		13	168
ASME SA516Gr70	Metal Base	8	148
	Zona Termicamente Afetada	6	174
		7	169
		19	172
		15	175
		14	171
	Metal Base	16	150

Fonte: os autores (2020)

Figura 03 - Desenho com a localização dos ensaios

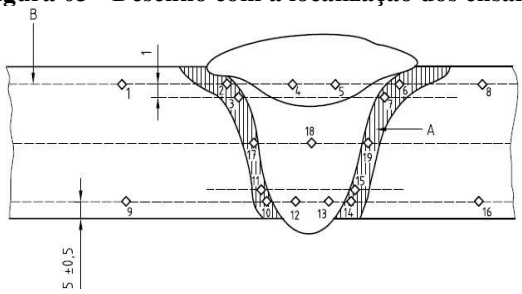




Foto sem escala

Fonte: os autores (2020)

O CP-02 apresentou um resultado de dureza um pouco maior na ZTA e na solda que o CP-01.

Os consumíveis de soldagem com mais de 1% de fração de níquel empregados em equipamentos com contato com H2S ficam susceptíveis a corrosão sob tensão, principalmente em soldas e zonas termicamente afetadas com dureza acima de 250HV, podendo comprometer o equipamento e causar sua falha prematura de forma silenciosa e catastrófica.

4.5 Ensaio de Tratamento Térmico

- Ensaio de Tratamento Térmico – Conforme: ASME Seção VIII.
- Corpo de prova: CP-01
- Material: ASTM A516 GR. 70 (Espessura: 45,0mm)
- Consumíveis: (ER80S-Ni2 GTAW) (E8018-C1 SMAW).

As Tabelas 15 e 16 apresentam os resultados de tratamento térmico conforme Norma e o realizado na junta soldada do CP-01.

Tabela 15 – Parâmetros Mínimos Exigidos Pela Norma

Temperatura de Início de Controle	Temperatura de término de Controle	Temperatura de Patamar	Tempo de Patamar	Taxa de Aquecimento	Taxa de Resfriamento
Acima 425°C	Até 425°C	620 a 640°C	2h (mínimo)	222°C /h máximo	280°C /h máximo

Fonte: os autores (2020)

Tabela 16 – Parâmetros do Tratamento Térmico Utilizado

Temperatura de Início de Controle	Temperatura de término de Controle	Temperatura de Patamar	Tempo de Patamar	Taxa de Aquecimento	Taxa de Resfriamento
Acima 425°C	Até 425°C	630°C	2h e 10 min	112°C /h máximo	142°C /h máximo

Fonte: os autores (2020)

- Ensaio de Tratamento Térmico – Conforme: ASME Seção VIII Divisão 1.
- Corpo de prova: CP-02
- Material: ASTM A516 GR. 70 (Espessura: 45,0mm)
- Consumíveis: (ER70S-3 GTAW) (E7018-1 SMAW).

As Tabelas 17 e 18 apresentam os resultados de tratamento térmico conforme Norma e o realizado na junta soldada do CP-02.

Tabela 17 - Parâmetros Mínimos Exigidos Pelo Norma

Temperatura de Início de Controle	Temperatura de término de Controle	Temperatura de Patamar	Tempo de Patamar	Taxa de Aquecimento	Taxa de Resfriamento
Acima 425°C	Até 425°C	620 a 640°C	2h e 8 mim (mínimo)	89°C /h máximo	112°C /h máximo

Fonte: os autores (2020)

Tabela 18 - Parâmetros do Tratamento Térmico Utilizado

Temperatura de Início de Controle	Temperatura de término de Controle	Temperatura de Patamar	Tempo de Patamar	Taxa de Aquecimento	Taxa de Resfriamento
Acima 425°C	Até 425°C	630°C	2h e 10 min	89°C /h máximo	89°C /h máximo

Fonte: os autores (2020)

5 CONCLUSÃO

O objetivo desse artigo foi o de comparar os consumíveis de soldagem que depositam mais de 1% de fração de massa de níquel em comparação com consumível que depositam menos que 1%, utilizado na fabricação de equipamentos vasos de pressão que operam sob condições severa e produtos críticos como Sulfeto de hidrogênio (H2S).

Os resultados obtidos no ensaio de dureza para ambos os consumíveis estudados nesse trabalho, ficaram abaixo do parâmetro de fragilização, podendo ser utilizados para a fabricação desse equipamento.

Os resultados obtidos nos ensaios de tração e ensaio de impacto foram satisfatórios, atendendo os requisitos de projeto e os especificados pela norma ASME IX 2015 e NACE MR175-2. Porém, em função do produto e a temperatura de processamento do gás, no equipamento, utilizamos o consumível da classe 80 por ter maior resistência a ruptura e melhor resultado de tenacidade na solda.

Quanto ao dobramento, os materiais estudados apresentaram resultados com alta dutibidade, para uso desse produto de transformação no interior desse equipamento.

REFERÊNCIAS

ABENDI. **Associação brasileira de ensaios não destrutíveis e inspeção.** 2018. Disponível em: http://www.abendi.org.com/. Acesso em: 09 abr. 2019.

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS (ASME) A516. Section VIII, Div. 1, ed. **Boiler and pressure vessel code-Section VIII rules for construction of pressure vessels-division1**. 2015.

_____. **UG-84.5.** 2013

ASTM A 516. American Society for Testing and Materials. 2015. **Aço ASTM A516 Gr 70**. Disponível em: http://www.astm.org. Acesso em: 12 jun. 2018.

CESAR, Mário. **H2S o gás da morte**. 2004. Disponível em: https://clickmacae.com.br/noticias/coluna/559/hs-o-gas-da-morte. Acesso em: 14 maio 2020.

DILLINGER. **Innovative top-quality steel products**. 2018. Disponível em: https://www.dillinger.de/d/en/corporate/index.shtml. Acesso em: 30 mai. 2018.

ESAB. **No Brasil**.2018. Disponível em: https://www.esab.com.br/br/pt/about/history/esab_no_brasil.cfm. Acesso em: 30 mai. 2018.

FUNDAÇÃO BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DA SOLDAGEM (FBTS**). Consumíveis.** 2018. Disponível em: http://www.fbts.org.br/. Acesso em: 09 abr. 2018.

KESTRA. **Consumíveis de soldagem**. 2018. Disponível em: http://www.kestra.com.br/ Acesso em: 01 jun. 2018.

MARQUES, P, V; MODENESI, P, J ;BRACARENSE,A,Q. **Soldagem:** fundamentos e tecnologia. UFMG, 3. ed., Belo Horizonte, 2014.

SOUZA,S, D, A. **Ensaios mecânicos de materiais metálicos**. Blucher, 5. ed, São Paulo, 2015.

TELLES, Pedro Carlos da Silva**. Vasos de Pressão.** 2 ed ., Rio de Janeiro: Gen. 2009.

VOESTALPINE. **Bohler welding soldas do brasil ltda**. 2018. Disponível em: https://www.voestalpine.com/welding/br/. Acesso em: 01 jun. 2018.

WAGNER, Felipe. **Como iniciou a regulamentação das inspeções em vasos de pressão e caldeiras?** 2015. Disponível em: http://www.rwengenharia.eng.br/regulamentacao-das-inspecoes-em-vasos-de-pressao/. Acesso em: 09 abr. 2018