Revista Naval e Oceânica, Rio de Janeiro, v.1, 2025, p. 48-65 DOI: 10.12957/rno.2025.92229

eduerj

REVISTA Naval e Oceânica

https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/rno

ESTUDO DA TENACIDADE EM UMA JUNTA SOLDADA DE AÇO X6CRNiNb18-10 (DIN EN 1.4550) E APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE DIFRAÇÃO DE RAIOS – X PARA ANÁLISE DE TENSÕES

Study of tenacity in a welded joint of X6CRNiNb18-10 steel (DIN EN 1.4550) and application of the X-Ray diffraction technique for stress analysis

Fernando Figueiredo Pereira da Silva [a*] & Carlos Aberto Martins Ferreira [*]

Recebido em: 07 jun. 2025 | Aceito em: 10 jun. 2025

RESUMO

Neste estudo, foram avaliadas as tensões no aço X6CRNiNb18-10 (DIN EN 1.4550) utilizando a técnica de difração de raios - X, também foi avaliada a tenacidade ao impacto por meio do ensaio Charpy. O foco da pesquisa foi em uma placa soldada, onde as sequências de cordões de solda foram aplicadas em camadas uniformes, como um revestimento. Realizou - se analise das tensões residuais geradas pela soldagem com a difração de raios -X e, em seguida, foram realizados testes de tenacidade nas áreas centrais do cordão de solda e entre os cordões. As alterações promovidas pela soldagem no ensaio de tenacidade e por análise de tensões por difração de raios - X indicaram que a região entre os cordões apresentaram valores de energia de absorção ao impacto superior aos cordões centrais.

Palavras-chave: Tenacidade, Difração de Raios – X, Aço X6CRNiNb18-10, Processo de Soldagem.

ABSTRACT

In this study, the stresses in the X6CRNiNb18-10 steel (DIN EN 1.4550) were evaluated using the X-ray diffraction technique, and the impact toughness was also evaluated by means of the Charpy test. The focus of the research was on a welded plate, where the sequences of weld beads were applied in uniform layers, as a coating. The residual stress generated by welding were analyzed with X-ray diffraction and, then, toughness tests were performed in the central areas of the weld bead and between the beads. The changes promoted by welding in the toughness test and by stress analysis by X-ray diffraction indicated that the region between the beads presented higher impact energy absorption values than the central beads.

Keywords: Toughness, X-Ray Diffraction, X6CRNiNb18-10 Steel, Welding Process.

[a]Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro – RJ, Brasil.

Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença Creative Commons 4.0.

1. INTRODUÇÃO

O aço X6CRNiNb18-10 (DIN EN 1.4550), estabilizado ao nióbio com ótima resistência a corrosão intergranular por isso é muito utilizado em reatores do tipo reator nuclear de água leve (Light Water Reactor – LWR) (Muesch,1985). Aços austeníticos estabilizados do tipo 347 foram aprimorados com teores limitados de C e Nb. Para evitar trincas a quente durante a soldagem, é importante que tanto os materiais de base quanto os de enchimento tenham composições químicas específicas. Isso garante a formação de níveis adequados de ferrita delta, o que resulta em uma boa soldabilidade. O nióbio, um elemento de liga, é essencial porque forma carbonetos e ajuda a prevenir a precipitação de carbonetos de cromo ($Cr_{22}C_6$) durante a soldagem, o que evita a corrosão intergranular. Além disso, ele atua como refinador de grão, favorecendo a formação de ferrita e melhorando a resistência à fluência.

Quando falamos sobre a soldagem de materiais de alta liga, é fundamental atender aos requisitos das propriedades mecânicas, que são mais rigorosos do que para outros materiais. Durante a fabricação de equipamentos soldados, algumas normas exigem a realização de amostras de solda de produção (ASP) para verificar se os resultados do processo de qualificação do procedimento de soldagem (QPS) ainda estão sendo mantidos conforme as especificações do procedimento de soldagem (EPS).

2. ENSAIO DE TENACIDADE E ANÁLISE DE TENSÕES POR DIFRAÇÃO DE RAIOS - X DA JUNTA SOLDADA

Investigar as alterações promovidas pela soldagem no ensaio de tenacidade e por analise de tensões por difração de raios - X, em junta soldada de aço inoxidável austenítico X6CRNiNb18-10 que segue a norma DIN EN 10028-7 e é semelhante ao ASTM A 240 tipo 347, estabilizado com nióbio Esse processo realizou-se utilizando eletrodo revestido (SMAW) com o consumível de soldagem UTP 68N - AWS 5.4 E 347-17, conforme as diretrizes da norma KTA 3211-3 de 2012, que regula a fabricação de equipamentos para a área nuclear.

3. METODOLOGIA

3.1 Aço X6CRNiNb18-10 - Semelhante ao ASTM A 240 tipo 347.

As tabelas 1 e 2 apresentam respectivamente a composição química e as propriedades mecânicas especificadas conforme a norma DIN EN 10028-7. (DIN EN 10028-7:2000).

Tabela 1 – Composição química para o aço DIN EN 1.4550. (Adaptado, DIN EN 10028-7:2000).

Steel designation		% by mass							
name	number	C	Si	Mn max.	P max.	S max.	Cr	Nb	Ni
Special grades									
X6CrNiNb18-10	1.4550	≤ 0,08	≤ 1,00	2,00	0,045	0,015	17,00 to 19,00	10 × C to 1,00	9,00 to 12,00

Fonte: Autoria própria a partir de dados extraídos da DIN EN 10028-7:2000, 2023, pg. 12.

Tabela 2 - Propriedades mecânicas requeridas para o aço DIN EN 1.4550. (Adaptado, DIN EN 10028-7:2000).

Steel designation		Product form[2]	Thick-ness	0,2 %-proof strength	1,0 %-proof strength	Tensile strength	Elongation after fracture		Impact energy (ISO-V) kV >10 mm thick J min.			Resistance to intergranular corrosion[7]	
			mm max.	$R_{p0,2}$	$R_{p1,0}$	Rm N/mm²	A_{80mm}[5] < 3 mm thick % min.	A[6] ≥ 3 mm thick % min.		at 20 °C	at −196 °C	in the delivery condition	in the sensitized condition
name	number			N/mm² min. (tr.)[1(e)]			(tr.)[3]	(tr.)[3]	(long.)	(tr.)	(tr.)		
Standard grades													
X6CrNiNb 18-10	1.4550	P	75	200	240	500 to 700	40	40	100	60	40	yes	yes

Fonte: Autoria própria a partir de dados extraídos da DIN EN 10028-7:2000, 2023, pg. 21.

Fonte: Autoria própria a partir de dados extraídos da DIN EN 10028-7:2000, 2023, pg. 21.

A chapa teste foi dimensionada com 700,0 mm de comprimento com 180,0 mm de largura e espessura de 25,0 mm.

3.2 Consumíveis de Soldagem

Eletrodo Revestido (SMAW) com consumível de soldagem segundo a especificação (ASME SFA: 5.4/5.4M: 2010) classificação E347-17 de marca comercial UTP 68N ("N" especificado para área nuclear) com bitola de 3,2 mm.

3.3 Abordagem a Norma KTA 3211-3, 2012.

As normas de segurança da Comissão de Normas de Segurança Nuclear (KTA) têm a finalidade de definir requisitos relacionados à segurança. O cumprimento dessas normas é

fundamental para garantir as precauções necessárias na fabricação e operação das instalações nucleares, onde são exigidos altos padrões de qualidade e confiabilidade. Isso inclui a utilização de materiais qualificados, bem como a salvaguarda e manutenção das características de qualidade durante a fabricação.

A norma utilizada como referência é a KTA 3211-3. Essa norma é aplicada na área nuclear e define os requisitos das propriedades mecânicas dos materiais. Além disso, ela estabelece que a energia absorvida deve ser de 60J para cada teste individual e de 70J em média nos ensaios de tenacidade (Charpy). Sendo assim faz-se o estudo de uma chapa soldada em que as sequências de cordões foram aplicadas uma camada sobre a outra, com mínimas sobreposições entre os cordões laterais na mesma camada durante o processo de soldagem. Isso resulta em uma região central do cordão com menos sobreposição em comparação com as áreas onde os cordões laterais se sobrepõem. Dessa forma, a região central do cordão sofre menos influência do calor aplicado. Os ensaios de tenacidade foram realizados nessas duas áreas: no centro do cordão e entre os cordões. Os comparativos dos resultados do ensaio de Charpy junto da analise de tensões por difração de raios – X para avaliar a influência das técnicas utilizadas e identificar qual delas pode oferecer os melhores resultados.

3.4 Usinagem dos biseis e montagem do corpo de prova.

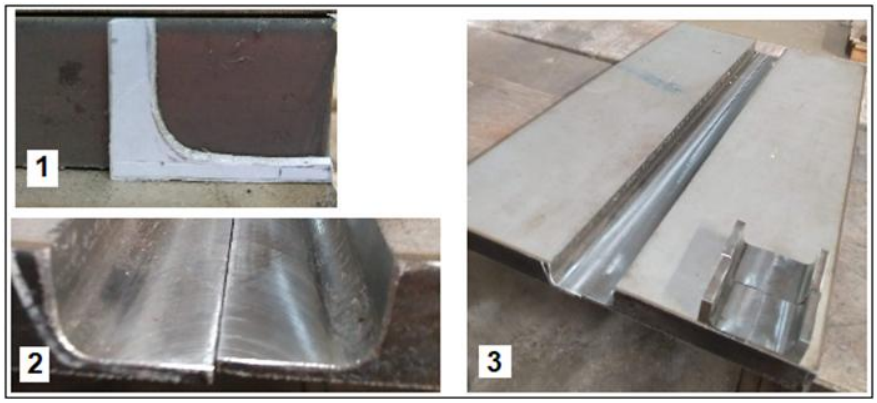
A preparação dos chanfros foi realizada utilizando o equipamento de corte CNC modelo Multitherm Eco 4000 e a fonte plasma Hypertherm HPR 400 XD, empregando uma mistura de gases de corte H35 (35% de Hidrogênio + 65% Argônio) em conjunto com Nitrogênio. Conforme figura 1

Figura 1 - Tela de configuração do equipamento Multitherm Eco 4000.

Fonte: Autoria própria. (2023).

Realizaram-se nos biseis ensaio visual e dimensional dos chanfros pelo método direto à vista desarmada, O chanfro foi preparado em “U” conforme um gabarito com raio de 8,0 mm e com a configuração diferenciada para seguir a sequência de soldagem em “camadas”, na figura 2.

Figura 2 - Corte, usinagem e inspeção visual e dimensional dos chanfros. 1 – Gabarito; 2 - detalhe do bisel usinado e 3 – Vista do corpo de prova usinado.



Fonte: Autoria própria (2023).

A chapa foi montada e fixada sobre uma bancada para simular restrições típicas durante a soldagem de equipamentos, com o objetivo de evidenciar de forma clara as tensões

residuais transversais. A montagem foi realizada com o auxílio de cunhas e dispositivos de fixação, além de apêndices de entrada e saída para início e término da soldagem fora da área do corpo de prova, como ilustrado na Figura 3.

Figura 3 - Montagem e travamento da chapa de teste.

Fonte: Autoria própria (2023).

3.5 Soldagem da Peça Teste.

A sequência de soldagem foi estabelecida e discutida com o soldador de tal forma que os cordões fossem dispostos de forma mais homogênea e em sincronia para estabelecer um parâmetro na soldagem e possibilite a retiradas dos corpos de prova de ensaio de charpy em duas regiões distintas entre cordões e centro de cordão. A soldagem foi realizada na posição plana, em multipasses, conforme parâmetros de uma EPS-001/23 qualificada aplicável à peça teste e os parâmetros de soldagem sumarizados na tabela 3.

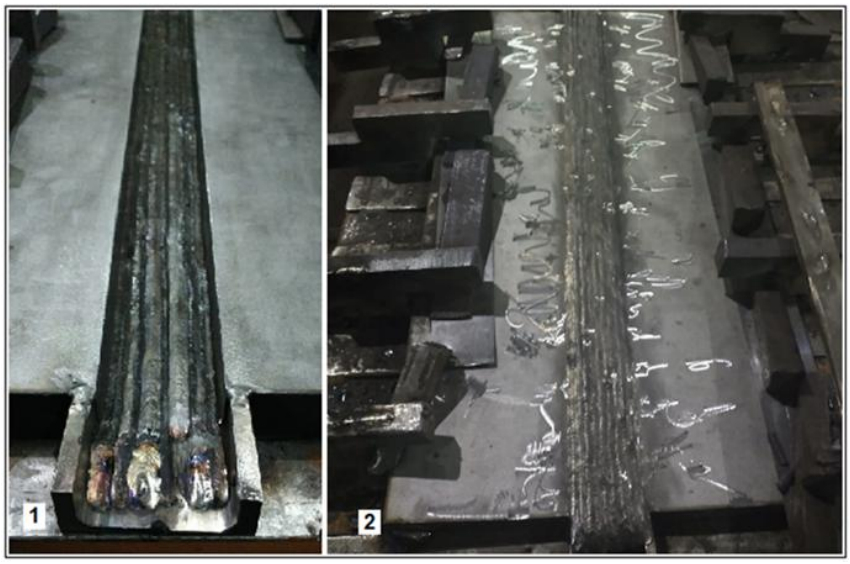
Tabela 1 - Principais parâmetros da EPS.

EPS	Tensão (V)	Corrente (A)	Velocidade Mín. de soldagem (cm/min)	Heat Input (kJ/mm)
001/23	**20 - 30**	**80 -120**	**11 – 15**	**≤ 15,0**
SD1 - 1° lado	**26 - 29**	**113 - 118**	**16,83**	**12,20**
SD2 - 2° lado	**26 -28**	**118 - 120**	**12,37**	**10,98**

Fonte: Autoria própria (2023).

Na Figura 4 a vista do enchimento, acabamento e do corpo de prova ainda com os travamentos.

Figura 4 - Detalhe do ajuste e sequencial de soldagem segunda camada, cordões dispostos lado a lado.



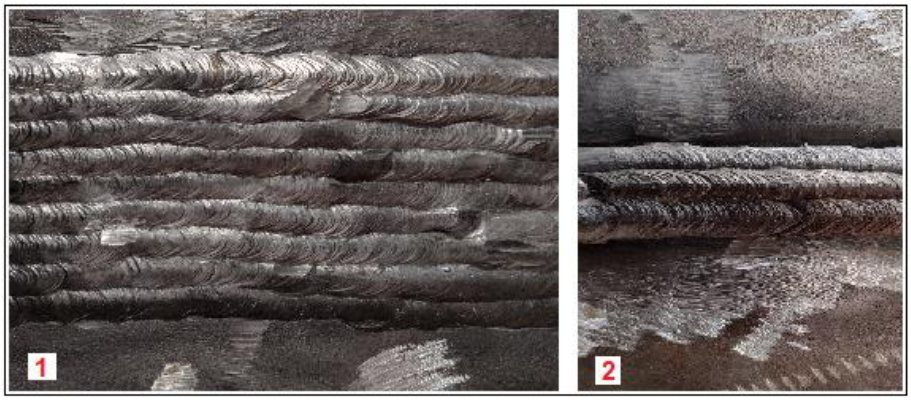
Fonte: Autoria própria (2023).

3.6 Inspeção Não Destrutiva

Realizados ensaios visual e dimensional das juntas soldadas pelo método direto à vista desarmada. O critério de aceitação foi conforme a norma KTA 3211.3 (2012:11) e também define o nível B da norma DIN EN 5817-2015, na qual fornece níveis de qualidade de imperfeições em juntas soldadas por fusão para todos os tipos de aços, níquel, titânio e suas ligas. Aplicando-se a materiais com espessuras iguais e superiores a 5,0 mm soldas em topo, ângulo com penetração total ou parcial.

Observa-se no detalhe 1 da Figura 5 durante a inspeção visual a disposição dos cordões lado a lado de forma homogênea e com a mínima sobreposição entre os mesmos. Detalhe 2, acabamento da contra solda.

Figura 5 – Inspeção visual, detalhe ampliado do acabamento da face 1 e da raiz 2.



Fonte: Autoria própria (2023).

Em seguida as juntas soldadas foram inspecionadas por meio de ensaio de Líquidos Penetrantes tipo II – A removível a água (Figura 6). O critério de aceitação foi conforme KTA 3211.3 (2012:11), Seção 11- Tabela 11.3.

Figura 6 - Ensaio por Líquido Penetrante da face SD1; 1 e da raiz SD2; 2.

Fonte: Autoria própria (2023).

Posteriormente foi realizado ensaio por Radiografia por raios – X (Figura 7). O critério de aceitação foi de acordo com a norma KTA 3211.3 (2012:11), Seção 11- item 11.3.5.3. Na figura 49, laudo radiográfico no negatoscópio industrial de mesa.

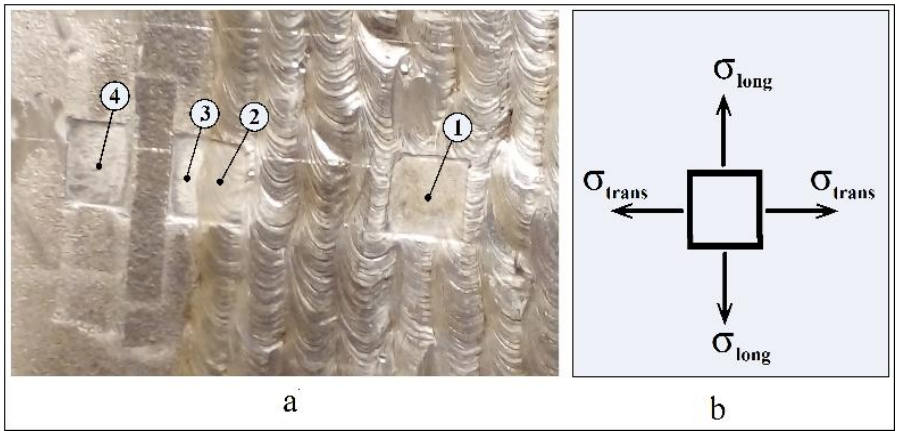
Figura 7 - Laudo radiográfico da chapa de teste no negatoscópio industrial de mesa.

Fonte: Autoria própria (2023).

3.7 Análise de tensões por difração de raios -X

Análise de tensões residuais introduzidas pelo processo de soldagem foi realizado com uso do método de difração de raios - X é necessário liberar amostra analisada de tensões superficiais quais surgem em resultado de limpeza da região de soldagem por lixamento mecânico com uso, geralmente, de escova de aço rotativa. As tensões residuais introduzidas deste lixamento adicionam-se com tensões de soldagem e distorcem os valores de tensões residuais medidas por difração de raios - X. Por tanto, é necessário no ponto de medição remover uma seção da camada superficial de metal com, aproximadamente, 0,15 – 0,20 mm de espessura e uma área de 10x5 mm2. Figura 8a mostra as áreas na superfície preparadas para medições de tensões residuais após de remoção eletrolítica e elemento com componentes de tensões residuais direcionadas ao longo e através de cordão de solda (Figura 8b).

Figura 8 - Áreas e pontos das medições de tensões residuais na amostra analisada após de remoção eletrolítica: 1- centro de cordão de solda; 2 – bordo de cordão de solda; 3 – ZTA; 4 – metal base; b – elemento com componentes de tensões residuais medidas nas direções longitudinais e transversais.

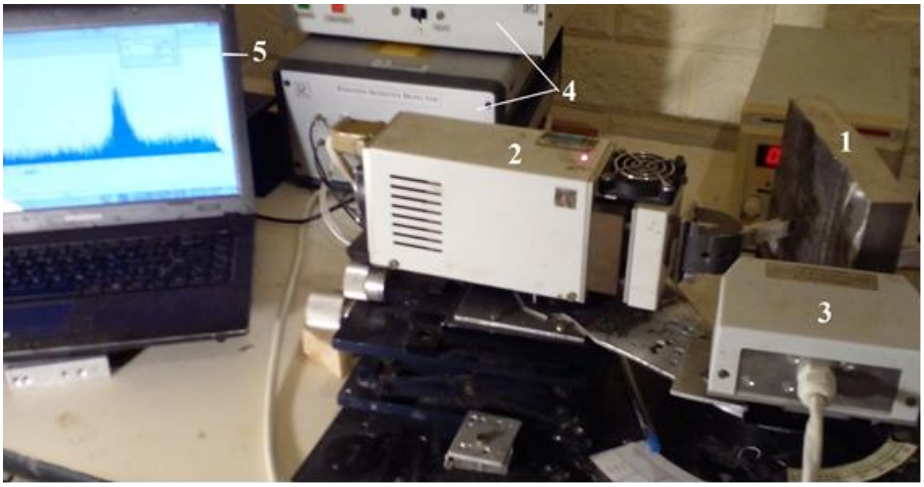


Fonte: Laboratório do DSc. Monine, V.I. - Autoria própria (2023).

Componentes das tensões residuais escolhidas para medições para chapas unidas pela soldagem são tensões principais e podem ser definidas como tensões longitudinais e transversais.

Unidades do aparelho de raios - X usado neste trabalho é mostrado na Figura 9. Aparelho conte detector de raios - X sensível à posição que permitiu digitalizar o processamento de dados experimentais e aumentar precisão e acurácia de medidas de tensões.

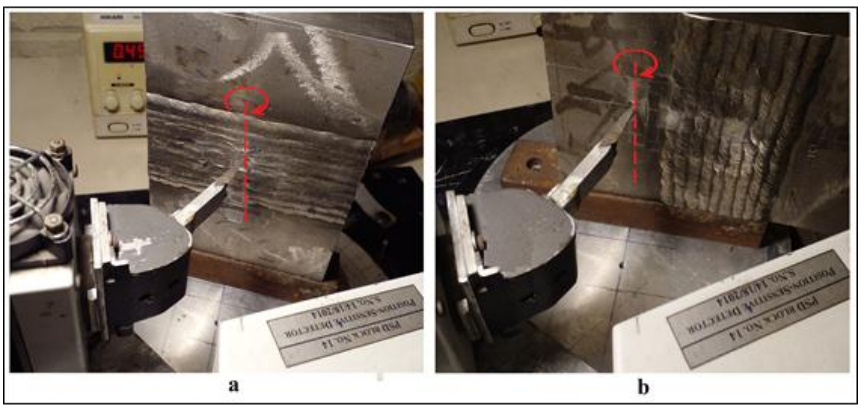
Figura 9 - Vista geral de aparelho portátil de raios X para medições de tensões: 1 – chapa analisada; 2 - fonte de raios - X; 3 – detector de raios - X sensível à posição; 4 – blocos de controle de funcionamento de fonte e de detector de raios - X; 5 – notebook para execução do processo de medição de tensões, processamento da linha de difração e cálculo de tensão medida.



Fonte: Laboratório do DSc. Monine, V.I. - Autoria própria (2023).

Posição de chapa analisada para medições destas componentes de tensões residuais são mostradas na Figura 10.

Figura 10 - Posições da chapa analisada para medições de tensões longitudinais (a) e transversais (b).



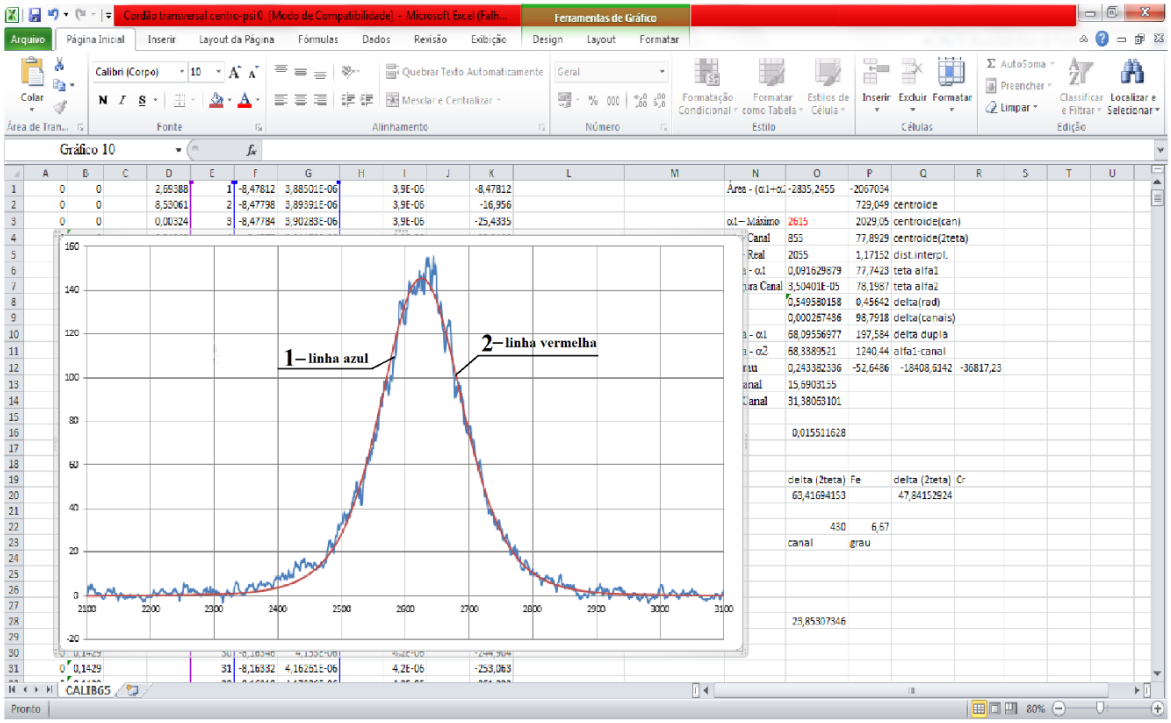
Fonte: Laboratório do DSc. Monine, V.I. - Autoria própria (2023).

De acordo com o método de "seno quadrado de psi" para obter os dados permitidos de calcular o valor de tensão residual é necessário determinar o ângulo de difração em vários ângulos de psi. Para alterar de ângulo psi é necessário virar chapa em torno do eixo que passa o ponto de medição na superfície como mostrado na Figura 10.

Determinação de ângulo de difração θ cumprido pelo processamento do perfil da linha de difração que pode ser visto na tela de notebook na Figura 11. Processamento é baseado no ajuste de perfil experimental por uma função de Cauchy (Lorentzian) modificada, expressada como:

O primeiro e segundo termos desta equação referem-se aos componentes de raios – X incidentes Kα1 e Kα2, respectivamente; a na equação é o parâmetro responsável pela largura da linha de difração, δ é a distância entre Kα1 e Kα2, x é a coordenada angular. A potência n, que na função conhecida como função de Cauchy ou função de Lorentz é igual a dois, é alterado e pode ter não apenas números inteiros, mas também qualquer um, inclusive fracionários. Esta modificação melhora ajuste de dados experimentais, aumentado a precisão e confiabilidade. Finalmente, b corresponde a posição do ângulo de difração. Portanto, o objetivo de processamento é cálculo de valor b que determina a posição da linha de difração θψ. Processamento de dados experimentais inclui filtragem, remoção de fundo e normalização de intensidades máximas das linhas de difração a Imax= 100. Exemplo de processamento de linha de difração para centro de cordão de solda de chapas soldadas é mostrado na figura 10.

Figura 11 - Perfil da linha de difração experimental (azul) e ajustado (vermelho) obtido para centro de cordão de solda.



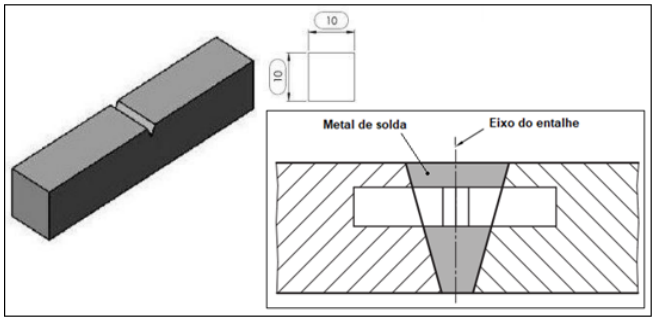
Fonte: Laboratório do DSc. Monine, V.I. - Autoria própria (2023).

3.8 Ensaios Mecânicos e Metalográfico

Subsequentemente a chapa de teste foi traçada para localização e retirada dos corpos de prova (CP). Os CP foram cortados por serra, usinados, polidos e atacados com reagentes químicos (Murakami e ácido oxálico).

O ensaio de Charpy foi realizado conforme norma DIN EN ISO 9016 com entalhe em V a temperatura de 20°C em 3 sets (cada set com 3 espécimes) sendo 3 sets com entalhe no centro do cordão (CC) e 3 sets com entalhe entre cordões (EC), com orientação do entalhe conforme figura 11, cuja profundidade foi determinada pelo ataque químico para retirada dos sets. Figura 12, após o ensaio, foi determinada a energia absorvida.

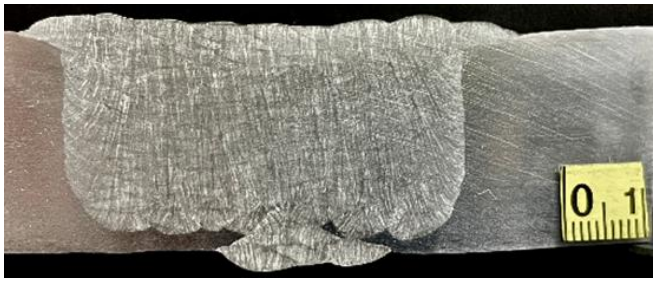
Figura 12 - Croqui com a localização do eixo do entalhe.



Fonte: Adaptado KTA 3211.3 - autoria própria (2024).

Um CP de macrografia transversal à solda, conforme norma DIN EN ISO 17639. O CP foi orientado perpendicularmente ao eixo da solda (seção transversal), incluindo a zona fundida (metal de solda) e zonas afetadas pelo calor em ambos os lados da solda. O CP foi cortado a frio por serra com sistema de lubrificação sem sofrer influência do calor, polido utilizando o as gramaturas das lixas apropriadas e atacadas por ácido oxálico, para revelação da zona fundida, da ZTA, dos passes e camadas de solda e também possibilitar a detecção de eventuais defeitos na seção transversal da solda. A observação foi através de microscópio ótico (MO) com ampliação de 10X. Figura 13.

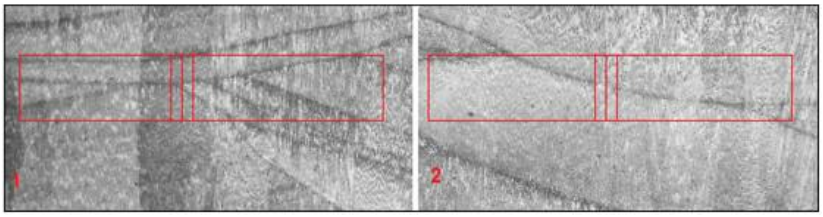
Figura 13 - Ensaio Macrográfico.



Fonte: Autoria própria (2024).

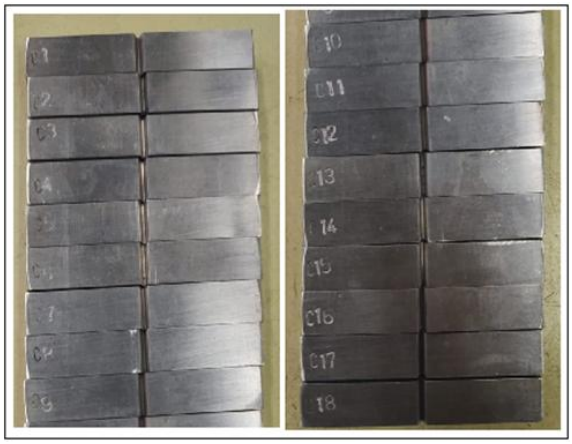
Na Figura 14 mostra um esboço da localização do entalhe que foi feito atrás de ataque químico por ácido oxálico para localizar o entalhe em cada espécime que foram usinados e numerados de C1 a C18. (Figura 15)

Figura 14 - Detalhe dos entalhes; 1 - Entre Cordão (EC); 2 - Centro de cordão (CC).



Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 15 - Corpos de prova de Charpy usinados.



Fonte: Autoria própria (2024).

3.9 Resultados e Discussão

Foram realizadas medidas de tensões residuais por difração de raios - X no metal de base, cordão de solda, entre cordões e ZTA. Os resultados das medições de tensões residuais nas chapas soldadas são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Resultados das medidas de tensões residuais.

Ponto	Tensão residual, MPa	
	Longitudinal	Transversal
1 – Cordão de solda	**+210**	**+160**
2 – Borda de cordão de solda	**+100**	**+70**
3 – ZTA	**-30**	**-0**
4 – Metal base	**-10**	**-0**

Fonte: Laboratório do DSc. Monine, V.I. - autoria própria (2024).

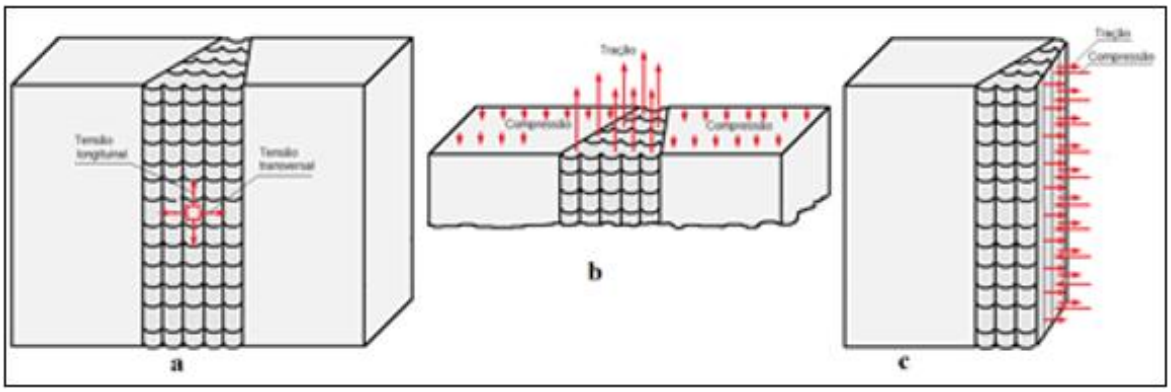
Verificou-se que as tensões residuais no cordão de solda, tanto na direção longitudinal quanto na direção transversal, são tratívas, enquanto na ZTA as componentes de tensões são compressivas. No metal base a uma distância de 20 mm do cordão de solda as tensões longitudinais e transversais diminuem até -10 MPa. Os resultados relativos a tensões longitudinais foram possíveis de serem interpretados em termos de equação equilíbrio entre tensões trativas no cordão de solda e tensões compressivas na ZTA e no metal base que pode ser escrito como:

$$\sigma_{cord.}*A_{cord.}+ \sigma_{ZTA.}*A_{ZTA} + \sigma_{base}.*A_{base} = 0 \qquad (1)$$

Onde A são as áreas de cordão, ZTA e metal base na seção perpendicular ao cordão de solda. A seção com equilíbrio de tensões longitudinais é mostrada na Fig.15b.

Equação de equilíbrio para tensões transversais relaciona se em seções paralelas à cordão de solda quais passam separadamente através de pontos medidas no cordão de solda, na ZTA e metal base. Figura 16c mostra de equilíbrio para tensões transversais no cordão de solda.

Figura 16 - Esquema de direções de tensões residuais (a) e condições de equilíbrio para tensões longitudinais (b) transversais (c).



Fonte: Laboratório do DSc. Monine, V.I. - Autoria própria (2024).

O teste de resistência ao impacto Charpy é um dos primeiros testes e continua sendo um dos mais utilizados para avaliar a fragilidade dos metais, sendo um teste dinâmico para aços que operam em ambientes desafiadores, onde a propensão de um metal a se fraturar é então avaliada pelo teste. A amostra é padronizada com um entalhe para localizar a fratura e proporcionar um estado de tensões triaxiais quando submetida a flexão por impacto, gerada por um martelo de queda livre. (SERGIO, AUGUSTO),

Foram retirados 6 set's de espécimes, os quais foram usinados nos padrões de 10 x 10 mm, divididos em 3 set's com entalhe entre o cordão de solda (EC) e 3 set's no centro de cordão de solda (CC), conforme DIN EN ISO 9016 com entalhe em V. A figura 94 mostra um esboço da localização do entalhe que foi feito atrás de ataque químico por ácido oxálico para revelar as camadas e os cordões, subsequente os entalhes foram verificados, através de um projetor de perfil, de um gabarito e de um paquímetro, as dimensões do corpo de prova (comprimento, espessura, largura, raio do entalhe, ângulo do entalhe). A temperatura do banho foi de 21,3º C controlado por termopar de imersão, com banho de tempo mínimo de 15 min. Na tabela 10 estão apresentados os valores obtidos no ensaio dos 18 corpos de prova.

Inicialmente os resultados obtidos foram próximos, porem foi observada uma pequena diferença na energia absorvida obtida para cada região do entalhe. Os corpos de prova retirados da região entre cordões (Metal de solda – EC) correspondente aos CP's de C1 a C9 obtiveram

valores ligeiramente melhores em relação para os corpos de prova retirados da região de centro de cordão (Metal de Solda – CC) referente aos CP's C10 a C18, como pode ser visto na tabela 5.

Tabela 5 - Resultados obtidos no ensaio de impacto.

Identificação do cp	Tipo de entalhe	Temperatura de ensaio	Loc. do entalhe	Energia absorvida (J)	Média da energia absorvida (J)
C1	V2 X 10 x 10	21,3ºC	MS (EC) – Transição entre cordões lado esquerdo da junta	70	72
C2				74	
C3				73	
C4	V2 X 10 x 10	21,3ºC	MS (EC) – Transição entre cordões lado esquerdo da junta	73	70
C5				71	
C6				67	
C7	V2 X 10 x 10	21,3ºC	MS (EC) – Transição entre cordões lado esquerdo da junta	68	72
C8				72	
C9				75	
C10	V2 X 10 x 10	21,3ºC	MS (CC) – Centro do cordão lado direito da junta	65	67
C11				68	
C12				67	
C13	V2 X 10 x 10	21,3ºC	MS (CC) – Centro do cordão lado direito da junta	66	70
C14				70	
C15				73	
C16	V2 X 10 x 10	21,3ºC	MS (CC) – Centro do cordão lado direito da junta	68	68
C17				70	
C18				66	

Fonte: Autoria própria (2024).

4. CONCLUSÃO

Análise de equilíbrio de tensões residuais no plano mostrado na Fig. 16c, foi possível concluir que a tração das tensões transversais na camada externa do cordão de solda deve ser

equilibrada por tensões compressivas na camada interna do cordão. Essa conclusão representa uma diferença importante entre as distribuições de tensões, relacionada ao fato de que, enquanto as tensões longitudinais no cordão de solda podem ser distribuídas de forma quase uniforme ao longo da profundidade, a distribuição das tensões transversais deve ser caracterizada como heterogênea.

O teste mecânico de impacto *Charpy* revelou valores semelhantes entre as áreas analisadas, embora os resultados indiquem uma condição superior na sequência de soldagem que utiliza a sobreposição dos cordões, em comparação àquela com menor sobreposição.

Esses dados são meramente indicativos e não definitivos, uma vez que a amostragem de corpos de prova *Charpy* atingiu o limite máximo possível para a amostra soldada. Isso se deve à quantidade disponível do aço especificado para o metal base e à disponibilidade limitada do consumível UTP 68N, sendo necessário garantir uma margem segura para a conclusão da solda do corpo de prova.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN Society For Mechanical Engineers (ASME) - Boiler and Pressure Vessel Code Section II, Part C - Division 1. Publisher The American Society of Mechanical Engineers, USA, Ed. 2019.

ASTM A240 TP347-2006, Standard Specification for Chromium and Chromium-Nickel Stainless Steel Plate, Sheet, and Strip for Pressure Vessels and for General Applications. ASTM International, USA, (2006)

ASM Handbook. Metallography and Microstructures. vol. 9. Publisher ASM International, USA, 1992.

ASM Handbook. Mechanical Testing and Evaluation. vol. 8. Publisher ASM International, USA, 2000.

DIN EN (10028-7:2000). Part. 7 - Flat Products Made of Steels for Pressure Purposes — Stainless Steel. Publisher DIN Deutsches Institute Fur Normungs e.V., Berlim. (EN 2000).

DIN EN ISO 17639, 2022 Edition, May 2022 - Destructive Tests on Welds in Metallic Materials - Macroscopic and Microscopic Examination of Welds, Publisher DIN Deutsches Institute Fur Normungs e.V., Berlim, (ISO 17639:2022)

DIN EN ISO 9016, 2011 Edition, May 2011 - Destructive Tests On Welds in Metallic Materials - Impact Tests - Test Specimen Location, Notch Orientation and Examination, Publisher DIN Deutsches Institute Fur Normungs e.V., Berlim, (ISO 9016:2001).

KTA 3211.3. Pressure and Activity Retaining Components of Systems Outside the Primary Circuit, Part 3: Manufacture, Publisher KTA-Geschaeftsstelle c/o Bundesamt fuer kerntechnische Entsorgungssicherheit (BfE), (2012:11).

H. MUESCH, Welding of Material Grade TP 347 MOD. Nuclear Engineering and Design 85 (1985) 155-161 - North-Holland, Amsterdam, Mannesmann Anlagenbau AG, D-4000 Df4sseldorf,, Fed Rep. Germany, Received 17 August 1984.

S, LIU. Weldability of Steels in: ASM Handbook: Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys, Vol. 1. ASM International, 1990, p. 1410-1412.

V. I MONINE; J. T.ASSIS; S. PHILIPPOV; F. R. PEREIRA, Um novo aparelho portátil de difração de raios - X para medidas de tensões em condições de campo. Revista Abendi, São Paulo, v. II, p. 35-39, 2006.

V.I. MONINE; J. R. TEODOSIO; S. A. IVANOV, New Methods of X Ray Tensometry. Advances in Experimental Mechanics, Holanda, V.2p. 757-761, 1994.

SERGIO, AUGUSTO. Ensaios Mecânicos de Materiais Metálicos – Fundamentos Téoricos e Práticos, 5ª Edição – 1982, 10ª Reimpressão – 2009.