



**FACULDADE DE TECNOLOGIA SENAI CIMATEC
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE SOLDAGEM**

MARCOS BARROS SOUZA DA SILVA

**CARACTERÍSTICAS DA ZTA NA SOLDAGEM DE UMA
SERPENTINA TIPO *HALF-PIPE JACKET* EM REATOR DE
PROCESSO**

Salvador
2015

MARCOS BARROS SOUZA DA SILVA

**CARACTERÍSTICAS DA ZTA NA SOLDAGEM DE UMA
SERPENTINA TIPO *HALF-PIPE JACKET* EM REATOR DE
PROCESSO**

Trabalho de conclusão de curso apresentada ao Curso de Especialização em Engenharia de Soldagem da Faculdade de Tecnologia SENAI Cimatec como requisito final para obtenção do título de Especialista em Engenharia de Soldagem.

Orientador: Prof. Dr. Charles Chemale Yurgel

Salvador
2015

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC

S586c Silva, Marcos Barros Souza da

Características da ZTA na soldagem de uma serpentina tipo Half-Pipe Jacket em reator de processo / Marcos Barros Souza da Silva. – Salvador, 2015.

88 f. : il. color.

Orientador: Prof. Dr. Charles Chemale Yurgel.

Monografia (Especialização em Engenharia de Soldagem) – Programa de Pós-Graduação, Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC, Salvador, 2015.
Inclui referências.

1. Half-Pipe Jackets. 2. Soldagem GTAW. 3. Vaso de pressão. 4. Posição de soldagem. I. Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC. II. Yurgel, Charles Chemale. III. Título.

CDD: 671.52

MARCOS BARROS SOUZA DA SILVA

**CARACTERÍSTICAS DA ZTA NA SOLDAGEM DE UMA
SERPENTINA TIPO *HALF-PIPE JACKET* EM REATOR DE
PROCESSO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Engenharia de Soldagem, Faculdade de Tecnologia SENAI Cimatec.

Aprovada em 29 de Julho de 2015.

BANCA EXAMINADORA

Charles Chemale Yurgel – Orientador_____

Doutor em Conformação Mecânica por Forjamento pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.

Faculdade de Tecnologia SENAI Cimatec

Carlos Augusto de Souza – Membro_____

Doutor em Mecânica pela Université Pierre et Marie Curie, Paris, França.

Petrobras Transportes S/A

Manoel Carreira Neto – Membro_____

Doutor em Engenharia Metalúrgica pela Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

Faculdade de Tecnologia SENAI Cimatec

29 de Julho de 2015

Dedico esse trabalho a Deus, que se mostrou criador, que foi criativo. Seu fôlego de vida em mim me foi sustento, autor da minha fé, meu guia, socorro bem presente na hora da angústia. À minha esposa, ao meu pai, minha mãe e aos meus irmãos.

AGRADECIMENTOS

Àquele que faz o impossível se tornar possível, que com o poder de Sua palavra até o vento e o mar lhe obedecem; ao Maior Engenheiro, que me projetou com tamanha maestria; a quem escreveu todas as equações que regem os fenômenos físicos, seja eles terrestres ou cósmicos; ao detentor de toda a sabedoria; ao Maior de todos os líderes; ao Ser que me inspira todos os dias e me dá esperança de vida após a vida. Dedico tudo que sou e minha vida pelo resto da minha vida, à Jesus Cristo.

À minha esposa, que com sua visão aprimorada me faz enxergar em nevoeiros e com sua paciência e amor me ajudou a trilhar caminhos que me fizeram lograr sucesso.

Aos meus pais, que me ensinaram tudo e com a sabedoria me conduziram a lugares que nunca alcançaria sozinho, deixando seus sonhos, desejos e ambições pessoais para que eu e meus irmãos tivéssemos um futuro melhor. Meu pai – o segundo maior engenheiro que conheço e minha mãe – minha intercessora.

Aos meus irmãos, que somaram nesse processo de construção do conhecimento. Aos meus sogros, que me suportaram em tudo que precisei deles.

Ao meu amigo Paulinho, que me despertou para o mundo da soldagem e me apoiou compartilhando o seu vasto conhecimento e experiência na área (foram várias conversas sobre P91, metalurgia da soldagem, TTAT), sendo também meu coorientador no processo de execução desse trabalho.

Ao Sr. Miura, pela sabedoria oriental e paciência. Suas experiências me ajudaram muito a ser o engenheiro que sou hoje.

A todos os professores do Curso de Especialização em Engenharia de Soldagem, principalmente ao Prof. Charles Chemale pelo apoio irrestrito na finalização desse trabalho, me orientando e mostrando quais eram as melhores alternativas para um trabalho bem-sucedido.

Aos colegas de curso, pelo clima descontraído e comprometido que me proporcionou crescimento profissional.

Aos amigos da MCE/MKS pelo apoio costumeiro e na tratativa desse trabalho.

Bendito seja o Senhor, a minha Rocha, que
treina as minhas mãos para a guerra e os
meus dedos para a batalha.

Salmos 144.1 (Almeida Revista e Corrigida)

Ergam os olhos e olhem para as alturas.
Quem criou tudo isso? Aquele que põe em
marcha cada estrela do seu exército
celestial, e a todas chama pelo nome. Tão
grande é o seu poder e tão imensa a sua
força, que nenhuma delas deixa de
comparecer!

Isaias 40.26 (Nova Versão Internacional)

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo caracterizar as ZTA de serpentinas do tipo *Half-Pipes Jackets* em equipamentos de processos, para as juntas do tipo topo (posição vertical) e filete (posição horizontal e sobre-cabeça). Tal necessidade de caracterização se deu pela falta de conhecimento aprofundado sobre falhas observadas em vasos de pressão com tal arranjo construtivo, tornando as atividades reparadoras uma sequência de atitudes com pouco embasamento teórico para tornar a intervenção mais eficiente. Foram realizados três corpos-de-prova que continham cada tipo de junta e posição de soldagem de interesse, de modo a identificar quais as características, separadamente, das ZTA em cada posição de soldagem no processo *TIG (Tungsten Inert Gas)*. As configurações de chanfros utilizadas foram equivalentes às configurações encontrados em equipamentos de processos existentes em plantas químicas. Os corpos-de-prova foram constituídos de chapas de ASME SA-516M Grau 415 e tubos de ASME SA-106M Grau B, ambos aços de baixo teor de carbono, num arranjo que simulou as condições de soldagem de uma serpentina do tipo *Half-Pipes Jackets* com tubos e chapas em configurações e espessuras equivalentes aos equipamentos reais. A soldagem seguiu EPS qualificadas de acordo com o ASME Seção VIII Divisão 1 e ASME Seção IX, e soldador qualificado de acordo com o ASME Seção IX. Os parâmetros foram controlados e mantidos dentro das faixas estabelecidas pelas EPS. Foi verificado que a ZTA do tubo para as juntas de topo apresentou área média superior à área média da ZTA do tubo para as juntas de filete, mesmo possuindo *Heat input* médio inferior. Os valores medidos de dureza se mantiveram abaixo do valor de referência adotado. Sob a ótica estatística, os valores médios de dureza da ZTA da face foram superiores aos valores médios medidos na ZTA da raiz. Analisando a relação de dureza entre as juntas de filete, comparando entre si regiões equivalentes para as posições horizontal e sobre-cabeça, as médias de dureza encontradas para posição horizontal (*Heat input* menor) foram superiores às médias de dureza encontradas para posição sobre-cabeça (*Heat input* maior). As microestruturas encontradas não apresentaram divergência do que era previsto pelas literaturas.

Palavras-Chave: *Half-pipe Jackets*; Soldagem GTAW; Vaso de pressão; Posição de soldagem.

ABSTRACT

This work aims to characterize the HAZ coils Half-Pipes Jackets type in process equipment to the joints of the top type (vertical position) and fillet (horizontal and over-head position). This need of characterization was due to the lack of detailed knowledge about failures observed in vessels with such a constructive arrangement, making remedial activities a sequence of actions with little theoretical basis to make the most efficient intervention. It was performed three specimens containing each type of joint and welding position of interest in order to identify the characteristics separately for each of the HAZ in welding position TIG (Tungsten Inert Gas). The bevels settings used were equivalent to the settings found in existing process equipment in chemical plants. The bodies of the test piece consisted of plates of ASME SA-516M Grade 415 and pipe ASME SA-106M Grade B, both of low-carbon steels, an arrangement that simulated the welding conditions of a coil type Half-Jackets pipes with pipes and plates in thicknesses equivalent settings and the actual equipment. The welding followed WPS qualified in accordance with ASME Section VIII Division 1 and ASME Section IX, and qualified welder in accordance with ASME Section IX. The parameters were monitored and maintained within the ranges established by WPS. It was found that the HAZ of the tube butt joints mean area greater than the mean area of the HAZ tube for fillet joints, despite having lower average Heat input. The measured hardness values remained below the reference value adopted. Under the statistical perspective, the average hardness of the HAZ face values above the mean values measured in the root ZTA. Analyzing the relationship of hardness between the fillet joints, comparing each other regions equivalent to the horizontal position and over-head, the average hardness found to horizontal position (Heat input lower) were higher than the average hardness found to stand on over-head (Heat input higher). The microstructures found showed no difference than was predicted by the literature.

Keywords: Half-pipe Jackets; GTAW Welding; Pressure Vessel; Welding Position.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Equipamento com <i>Half-pipes Jackets</i>	13
Figura 2 - Seção do <i>Half-pipe Jackets</i> trincado na junta de topo – parte externa.	14
Figura 3 - Seção do <i>Half-pipe Jackets</i> trincado na junta de topo – parte interna.	14
Figura 4 – Posições de soldagem nos CP (Corpos-de-Prova).	15
Figura 5 – Efeito do <i>Heat input</i> por unidade de comprimento de solda na: (a) largura da ZTA (sombreada), (b) os ciclos térmicos próximos à linha de fusão, (c) e perfis de resistência ou dureza.	17
Figura 6 – Efeito do <i>Heat input</i> por unidade de comprimento de solda sobre a dureza da ZTA em uma liga de alumínio 5356 endurecida por encruamento.	18
Figura 7 – Microestrutura perto da linha de fusão de uma liga de alumínio 2219-T37 endurecido por encruamento: (a) de solda por feixe de elétrons; (b) GTAW. Ampliação de 80x.	18
Figura 8 - Diagrama de fase e regiões da ZTA.	20
Figura 9 – Microestrutura da ZTA de uma solda GTAW em aço 1018. Ampliação 200x.	20
Figura 10 – Mecanismo de refino parcial do grão num aço de carbono.	21
Figura 11 – Refino de grão em soldagem de vários passes: (a) de um único passe de solda; (b) microestrutura de vários passes de solda.	22
Figura 12 – Microestrutura da ZTA do aço 1018 produzido um por um feixe de laser de alta potência de CO ₂ . Ampliação de 65x.	23
Figura 13 – Microestrutura da ZTA do aço 1018 produzido um por um feixe de laser de alta potência de CO ₂ . Ampliação de 415x.	24
Figura 14 – Microestrutura do aço carbono: (a) condição fundida; (b) depois da homogeneização.	25
Figura 15 – Microestrutura da ZTA de uma solda de reparo estacionária de um aço carbono fundido. Zona de fusão: A, B; ZTA: C-F; metal de base: G.	26
Figura 16 - Microestrutura de uma solda de um aço inoxidável 304 endurecido por encruamento: (a) antes de encruamento; (b) metal de base; (c) precipitação de carbonetos nos contornos de grão; (d) recristalização; (e) o crescimento do grão próximo ao limite de fusão; (F) zona de fusão. Ampliação 137x.	27
Figura 17 - Crescimento de grão em solda por feixe de elétrons em molibdênio. Setas indicando linha de fusão.	27

Figura 18 - Amolecimento do material encruado causada pela soldagem: (a) ciclos térmicos; (b) perfil de resistência e dureza.	28
Figura 19 – Perfil de tensão de escoamento na seção transversal de duas chapas de liga de alumínio 5083 encruado.	29
Figura 20 – Crescimento de grão da ZTA: (a) diagrama de fase; (b) ciclo térmico; (c) variação do tamanho de grão.	30
Figura 21 – Região de aceitação e rejeição da curva de distribuição.	34
Figura 22 - Chapas de 9,53 mm soldadas travando a chapa de 25,4 mm.	38
Figura 23 - Simulação em 3D da configuração dos CP.	39
Figura 24 - Configuração de chanfro para junta de topo.	40
Figura 25 - Configuração de chanfro para junta de filete de 35°.	40
Figura 26 - Soldador em posição de soldagem simulando condição de campo.	41
Figura 27 - Limpeza das chapas e tubos e aplicação de verniz protetor.	42
Figura 28 - Ponteamento e pré-montagem dos CP.	42
Figura 29 - LP nas soldas do CP.	43
Figura 30 - CP após destaque das amostras.	43
Figura 31 - Alicate Volt-amperímetro instalado na máquina CST 280.	46
Figura 32 - Termômetro digital infravermelho verificando a temperatura na face oposta da solda em execução e Cronômetro em verificação no experimento.	47
Figura 33 - Amostras cortas para ensaio metalográfico e microdureza.	48
Figura 34 - Perfil de microdureza para junta de topo.	49
Figura 35 - Perfil de microdureza para junta de filete.	49
Figura 36 – <i>Heat input</i> nominal e área da ZTA versus Tipo de junta – Posição de Soldagem.	55
Figura 37 - Perfil de microdureza para junta de topo – 28 pontos medidos.	56
Figura 38 - Perfil de microdureza para junta de filete do horizontal – 24 pontos medidos.	56
Figura 39 - Perfil de microdureza para junta de filete do Sobre-cabeça – 24 pontos medidos.	57
Figura 40 – Distribuição Normal Padronizada para as durezas das ZTA.	59

Figura 41 - ZTA esquerda da face da solda. Aumento de 25x.	62
Figura 42 - ZTA esquerda da face da solda. Aumento de 100x.	63
Figura 43 - ZTA direita face da solda. Aumento de 100x.	64
Figura 44 - ZTA esquerda região da meia espessura. Aumento: 25x.	65
Figura 45 - ZTA esquerda, região da meia espessura. Aumento de 200x.	66
Figura 46 - ZTA do tubo na face da solda com aumento de 25x.	67
Figura 47 - ZTA do tubo da solda na região da meia espessura. Aumento de 25x...	67
Figura 48 - ZTA do tubo da solda na região da meia espessura. Aumento de 100x.	68
Figura 49 - ZTA do tubo da solda na região da raiz. Aumento de 100x.	69
Figura 50 - ZTA da chapa e metal de solda na região de reforço da solda. Aumento: 25x.	70
Figura 51 - ZTA da chapa, do tubo e metal de solda na região da raiz. Aumento: 25x.	71
Figura 52 - ZTA da solda na chapa, à meia parte da solda. Aumento: 100x.	71
Figura 53 - ZTA do tubo na face da solda. Aumento de 25x.	72
Figura 54 - ZTA do tubo na raiz da solda. Aumento de 25x.	73
Figura 55 - ZTA da chapa, face da solda. Faixa da ZTA relativamente estreita sem anormalidades. Aumento: 25x	74
Figura 56 - ZTA da chapa, raiz da solda. Faixa da ZTA relativamente estreita com granulação fina sem anormalidades.	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição Química do ASME SA-516M Grau 415 (valores dos elementos em %).	36
Tabela 2 - Propriedades Mecânicas ASME SA-516M Grau 415.....	36
Tabela 3 - Composição Química do ASME SA-106M Grau B (valores dos elementos em %).	36
Tabela 4 - Propriedades Mecânicas ASME SA-106M Grau B.	37
Tabela 5 - Composição Química do ER70S-3 (valores dos elementos em %).	37
Tabela 6 - Propriedades Mecânicas do ER70S-3.	37
Tabela 7 - Parâmetros de soldagem junta de filete horizontal.	44
Tabela 8 – <i>Heat Input</i> para a junta de filete horizontal.	44
Tabela 9 - Parâmetros de soldagem junta de filete sobre-cabeça.	44
Tabela 10 – <i>Heat Input</i> para a junta de filete sobre-cabeça.....	45
Tabela 11 - Parâmetros de soldagem junta de topo vertical.	45
Tabela 12 – <i>Heat Input</i> para a junta de topo vertical.....	45
Tabela 13 - Dimensionamento de ZTA e área de solda para a junta de topo.	51
Tabela 14 – Avaliação de t de Student para ZTA da junta de topo.	52
Tabela 15 - Dimensionamento de ZTA e áreas de solda para as juntas de filete.	53
Tabela 16 – Avaliação de t de Student para ZTA da junta de filete na chapa.....	53
Tabela 17 – Avaliação de t de Student para ZTA da junta de filete no tubo.....	54
Tabela 18 – Avaliação de t de Student para junta de topo.....	57
Tabela 19 – Avaliação de t de Student para junta de filete horizontal.....	58
Tabela 20 – Avaliação de t de Student para junta de filete sobre-cabeça.....	58
Tabela 21 – Dados estatísticos para os valores de dureza na face e na raiz dos 3 tipos de juntas.	59
Tabela 22 – Teste de hipóteses entre ZTA da face e da raiz, para os 3 tipos de juntas.	60

Tabela 23 – Teste de hipóteses entre as ZTA das faces das juntas de filete horizontal (tipo 2) e sobre-cabeça (tipo 3).....	60
Tabela 24 – Teste de hipóteses entre as ZTA das raízes das juntas de filete horizontal (tipo 2) e sobre-cabeça (tipo 3).....	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Aço Carbono
ASME	<i>American Society of Mechanical Engineers</i>
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
C	Carbono
CAD	<i>Computer-Aided Design</i>
Ceq.	Carbono Equivalente
CP	Corpo de Prova
Cr	Cromo
CC	Corrente Contínua
END	Ensaio Não Destrutivo
EPS	Especificação de Procedimento de Soldagem
EV	Ensaio Visual
EVS	Ensaio Visual de Solda
Fe	Ferro
GTAW	<i>Gas Tungsten Arc Welding</i>
H	Posição Horizontal; Hipótese
h	Hora
HRB	<i>Rockwell B Hardness</i>
HV	<i>Vickers Hardness</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
IIW	<i>International Institute of Welding</i>
L	Líquido
LP	Líquido Penetrante
LQ	Laminada à Quente
MB	Metal de Base
Mn	Manganês
Mo	Molibdênio
MS	Metal de Solda
M _s	Temperatura de início da Martensita
n	Tamanho da amostra
NACE	<i>National Association of Corrosion Engineers</i>
Ni	Níquel
Polar.	Polaridade
Sch	<i>Schedule</i>
s	Desvio padrão amostral
S	Posição Sobre-Cabeça
Si	Silício
SMAW	<i>Shielded Metal Arc Welding</i>
t	Distribuição de Student
TIG	<i>Tungsten Inert Gas</i>
Z	Estatística de Teste
ZTA	Zona Termicamente Afetada

LISTA DE SÍMBOLOS

α	Ferrita Alfa, nível de confiança
γ	Austenita
δ	Ferrita Delta
μ_0	Valor fixo usado para comparação com a média da amostra
π	Média da amostra
σ	Desvio Padrão da população

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	12
1.2	OBJETIVO.....	15
1.3	MOTIVAÇÃO	16
2	REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1	EFEITO DOS PARÂMETROS DE SOLDAGEM.....	17
2.2	AÇO CARBONO – METALURGIA DA SOLDAGEM	19
2.2.1	Microestruturas nas regiões da ZTA	19
2.2.2	Recristalização e crescimento de grãos na soldagem	26
2.3	T DE STUDENT.....	30
2.3.1	Unicaudal vs. Bicaudal	32
2.4	TESTE DE HIPÓTESE	33
3	MATERIAIS E MÉTODOS	36
3.1	MATERIAIS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	36
3.2	PREPARAÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA.....	37
3.3	METODOLOGIA EXPERIMENTAL.....	41
3.4	PARÂMETROS DE SOLDAGEM	44
3.5	ANÁLISE METALOGRÁFICA E MICRODUREZA	47
3.5.1	Corte e Preparação da Amostra	47
3.5.2	Macrografia	48
3.5.3	Microdureza	48
3.5.4	Micrografia	50
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
4.1	PARÂMETROS DE SOLDAGEM	51
4.2	ANÁLISE METALOGRÁFICA E MICRODUREZA	51
4.2.1	Macrografia	51
4.2.2	Microdureza	56
4.2.3	Micrografia	61
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	76
5.1	CONCLUSÃO	76
5.2	PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS.....	77
	REFERÊNCIAS	78
	ANEXO A – EPS AC-01, AC-02 E AC-03	82
	ANEXO B – DESENHO DOS CP PARA FABRICAÇÃO	88

1 INTRODUÇÃO

As falhas de vasos de pressão são observadas cotidianamente e resultam em um tempo de inatividade de produção do equipamento que torna custoso à empresa e por vezes resultam em riscos ambientais e condições de operação inseguras.

O reparo e a manutenção são atividades importante em qualquer indústria de processo. Os reparos são necessários em vasos de pressão para restaurar a condição original ou uma nova condição operacional pretendida, tornando a operação mais segura e livre de problemas, prolongando a vida útil do equipamento. As condições do vaso de pressão se deterioram devido a vários fatores, principalmente problemas mecânicos, problemas relacionados ao processo e a corrosão.

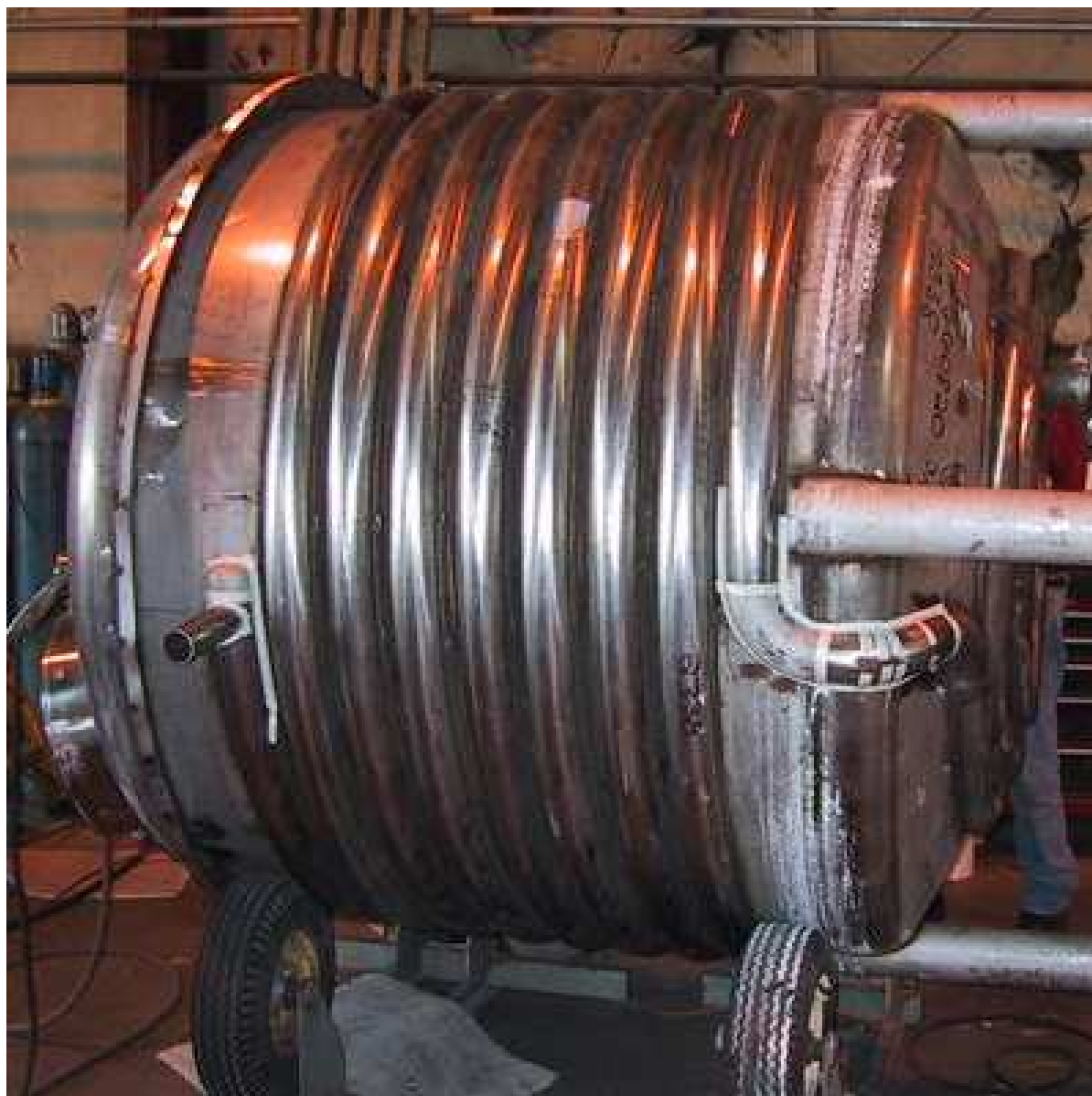
O reparo realizado com soldagem necessita de um procedimento lógico que assegure que a peça estará utilizável e segura. Se os reparos são feitos com a devida atenção e precauções, são evitadas falhas prematuras e grandes reclamações de cliente, possibilitando a segurança de vidas humanas e patrimonial e resultando em clientes satisfeitos. O entendimento da falha e dos seus mecanismos é importante, mas também é importante o entendimento do procedimento de reparo e suas consequências. Saber como se comporta um consumível, ou uma junta na posição X, Y ou Z no momento da soldagem pode fazer a diferença entre um reparo bem-sucedido de um reparo malsucedido.

1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Half-Pipes Jackets são serpentinas ao redor do equipamento, do lado externo, com forma semelhante aos tubos cortados ao meio soldados no costado, que são usados para conduzir fluidos que aqueçam ou resfriem o conteúdo interno ao equipamento (figura 1). O problema apresentado é a ocorrência de vazamentos em juntas de topo e de filete de *Half-Pipes Jackets* em equipamentos industriais, causando paradas não programadas para reparos. Esses vazamentos se apresentam por causa de trincas que surgem nos *Half-pipes Jackets*, principalmente nas juntas de topo, em soldagem de tubo-tubo (figuras 2 e 3). Essas trincas perpassam as ZTAs

(Zonas Termicamente Afetadas) de suas juntas. As regiões que apresentam a maior incidência do defeito são as de entrada do vapor no início do circuito. Na condição de manutenção, normalmente se investiga quais as regiões e as soldas que apresentam maior índice de reparo, mas não há investigação da correlação com as características das ZTA nas posições de soldagem.

Figura 1 – Equipamento com *Half-pipes Jackets*.



Fonte: Pressure Vessel Engineering Ltd.

Figura 2 - Seção do *Half-pipe Jackets* trincado na junta de topo – parte externa.



Fonte: Próprio autor

Figura 3 - Seção do *Half-pipe Jackets* trincado na junta de topo – parte interna.



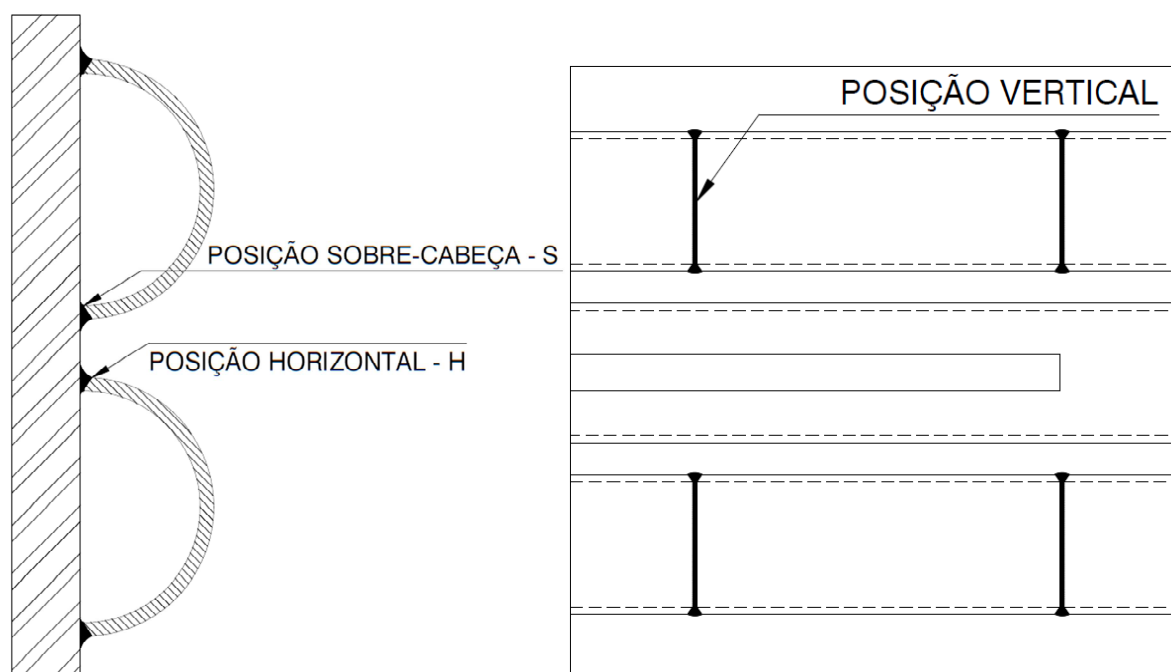
Fonte: Próprio autor

1.2 OBJETIVO

No desenvolvimento deste trabalho, objetiva-se caracterizar as ZTAs no processo de soldagem *TIG* para as juntas sinalizadas na figura 4, identificando suas microestruturas, tamanho de ZTA e microdureza, indicando qual tipo de junta pode ser mais propensa a falha, excluído as avaliações mecânicas das juntas, fazendo variar a posição de soldagem entre juntas de filete e comparando a respectiva parte em tubo com a junta de topo na posição vertical. Juntas comumente encontradas em vasos com *Half-pipe Jackets* fabricados ou reparados na posição vertical.

- Junta de Topo – Posição Vertical
- Junta de Filete – Posição Horizontal
- Junta de Filete – Posição Sobre-cabeça

Figura 4 – Posições de soldagem nos CP (Corpos-de-Prova).



Fonte: Próprio autor

Para isso foram soldados 3 corpos-de-prova para verificar as possíveis influências entre elas, com três passes de solda em cada tipo de junta – passe de raiz, passe de reforço de raiz e passe de acabamento.

1.3 MOTIVAÇÃO

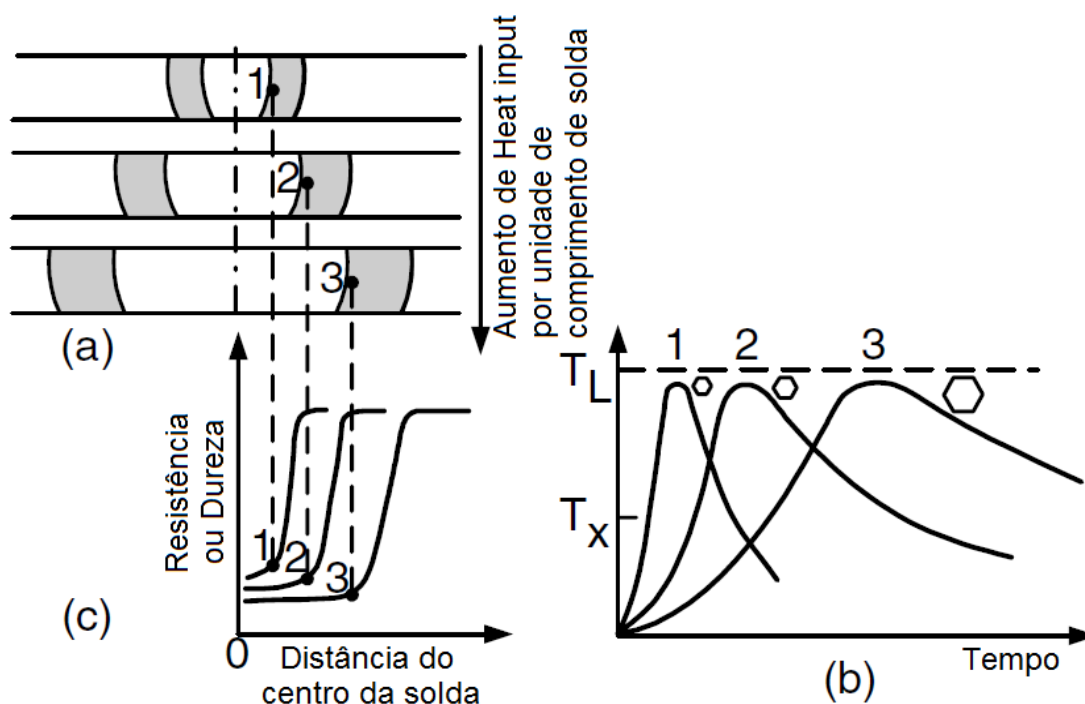
A motivação para execução desse trabalho foi a falta de estudos que amparassem os usuários de equipamentos com *Half-pipes Jackets* e fabricantes no que tange a características da ZTA de cada posição de soldagem nos índices de reparos em *Half-pipes Jackets*.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 EFEITO DOS PARÂMETROS DE SOLDAGEM

O efeito dos parâmetros de soldagem na resistência da ZTA é explicado na figura 5. Tanto o tamanho da ZTA e o tempo de retenção acima da temperatura efetiva de recristalização T_x aumenta com o aumento do *Heat input* por unidade de comprimento de solda, isto é, a razão entre o *Heat input* com a velocidade de soldagem. Conseqüentemente, a perda de resistência na ZTA se torna mais grave quanto o *Heat input* por unidade de comprimento da solda é aumentado.

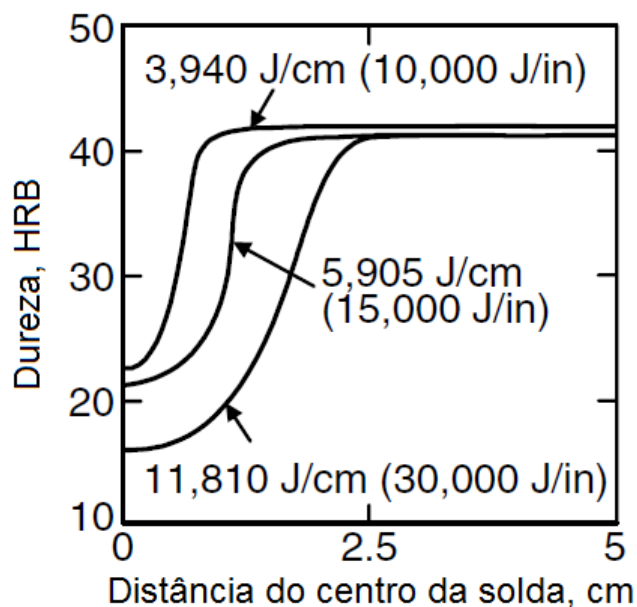
Figura 5 – Efeito do *Heat input* por unidade de comprimento de solda na: (a) largura da ZTA (sombreada), (b) os ciclos térmicos próximos à linha de fusão, (c) e perfis de resistência ou dureza.



Fonte: Kou (2002)

A figura 6 mostra o efeito dos parâmetros de soldagem (*Heat Input*) na dureza da ZTA de uma liga de alumínio 5356-H321 endurecida por encruamento.

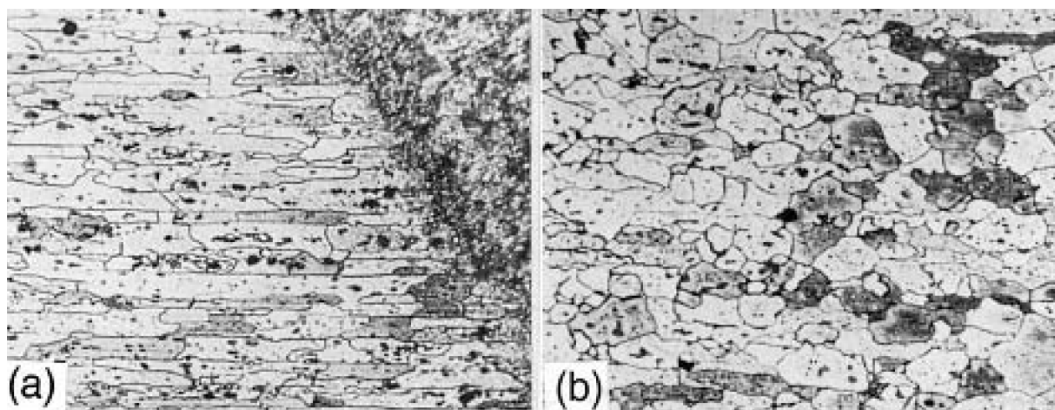
Figura 6 – Efeito do *Heat input* por unidade de comprimento de solda sobre a dureza da ZTA em uma liga de alumínio 5356 endurecida por encruamento.



Fonte: Kou *et al* (2002) *apud* White *et al* (1960)

Finalmente, a figura 7 mostra o efeito do processo de soldagem sobre a microestrutura da ZTA de uma liga de alumínio 2219 endurecido por encruamento. Por causa do baixo *Heat input* e da alta taxa de resfriamento para a soldagem por feixe de elétron, muito pouca recristalização é observada na ZTA do material endurecido de encruamento. Por outro lado, por causa do elevado *Heat input* e baixa taxa de resfriamento no processo *GTAW* (*Gas Tungsten Arc Welding*), recristalização e até mesmo algum crescimento de grão são observados nas ZTAs.

Figura 7 – Microestrutura perto da linha de fusão de uma liga de alumínio 2219-T37 endurecido por encruamento: (a) de solda por feixe de elétrons; (b) *GTAW*. Ampliação de 80x.



Fonte: Kou *et al* (2002) *apud* Metals Handbook *et al* (1972)

2.2 AÇO CARBONO – METALURGIA DA SOLDAGEM

2.2.1 Microestruturas nas regiões da ZTA

As propriedades da ZTA são afetadas pelo tipo de estrutura formada e pelos ciclos térmicos que ocorrem durante a soldagem. Os fatores de maior importância que provocam mudanças na microestrutura, afetando as propriedades são: a máxima temperatura atingida no aquecimento e a velocidade de resfriamento no intervalo compreendido entre 800°C e 500°C. Segundo Okumura e Taniguchi (1982), conforme a velocidade de resfriamento é possível ocorrer as seguintes mudanças na sequência apresentada:

Martensita » Bainita acicular » Bainita em forma de placas » Ferrita + Perlita

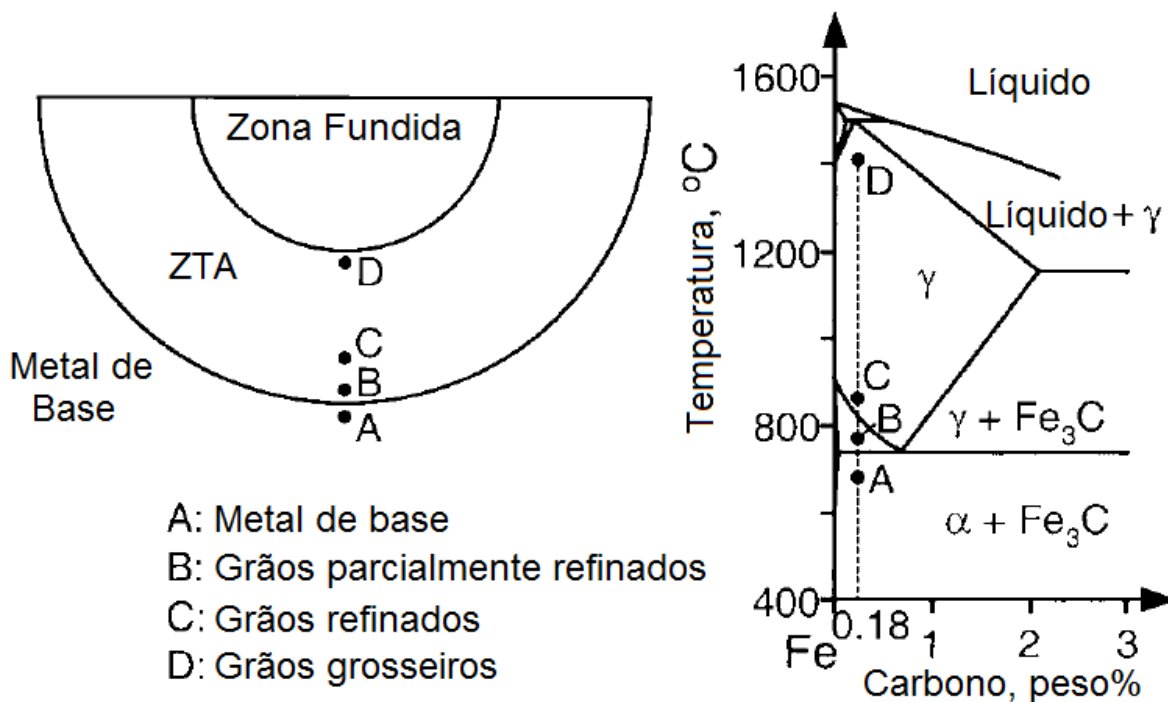
Durante o ciclo térmico, o tempo de resfriamento, em uma determinada faixa de temperatura, influi muito no desempenho da junta soldada, principalmente no que se refere às fraturas. A partir das curvas de ciclo térmico para todos os pontos ao longo da junta é possível obter as temperaturas máximas atingidas em função das distâncias ao centro da solda. Esta função chama-se repartição térmica e é através dela que se percebe a relação entre a microestrutura da ZTA e a distância ao centro da solda. A figura 8 apresenta as subdivisões da ZTA formadas em função do gradiente de temperatura gerado pelo processo de soldagem.

A microestrutura da ZTA resulta das transformações estruturais do metal de base associadas com os ciclos térmicos e deformações durante a soldagem. Para fins de estudo, pode-se considerar a ZTA dos aços transformáveis como sendo formada por diferentes regiões à medida que se afasta do cordão de solda.

Para a finalidade de discussão o aço 1018, que tem um teor nominal de carbono de 0,18%, será utilizado como exemplo. A figura 9 mostra as micrografias de uma solda GTAW em aço 1018. O metal de base consiste em um ferrita (clara) e uma perlita (escura) (posição A). A microestrutura da ZTA pode ser dividida essencialmente em três regiões: regiões com refino de grãos parcial, região com grãos refinados e

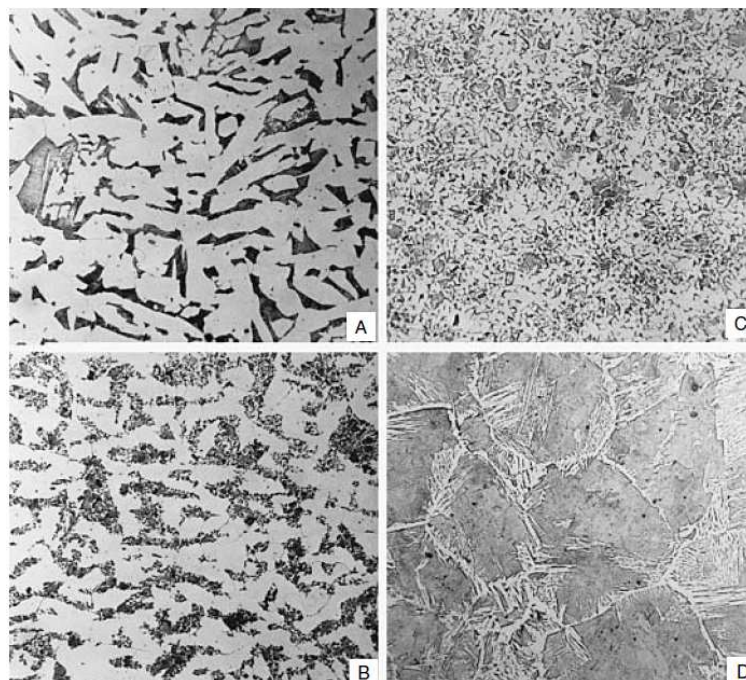
região de grãos grosseiros (posições B-D). As temperaturas máximas nestas posições são indicadas no diagrama de fases figura 10.

Figura 8 - Diagrama de fase e regiões da ZTA.



Fonte: Kou (2002)

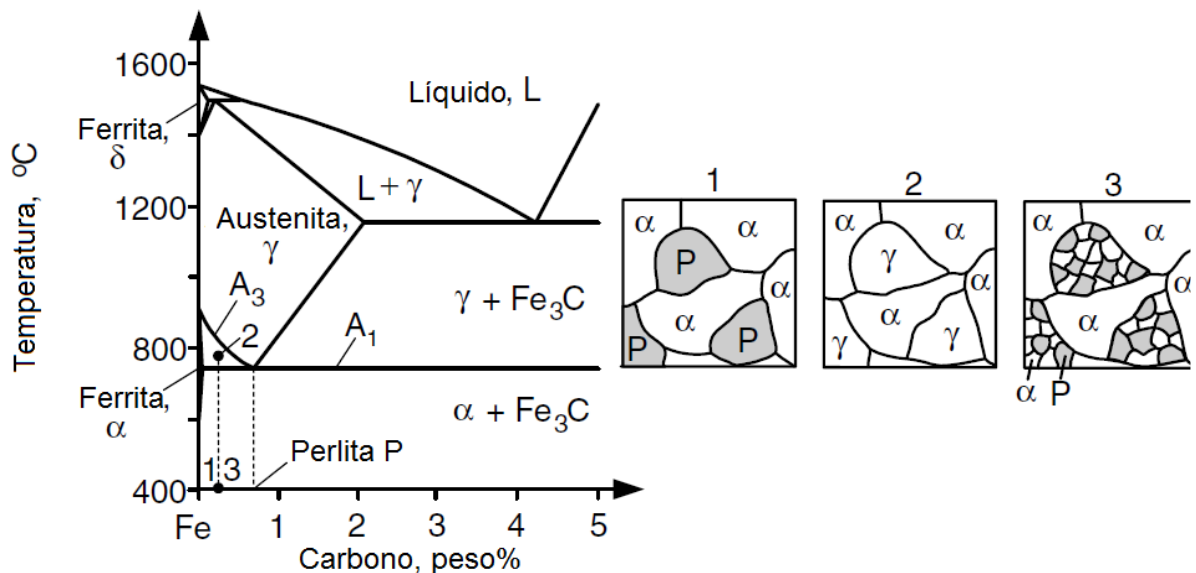
Figura 9 – Microestrutura da ZTA de uma solda GTAW em aço 1018. Ampliação 200x.



Fonte: Kou (2002)

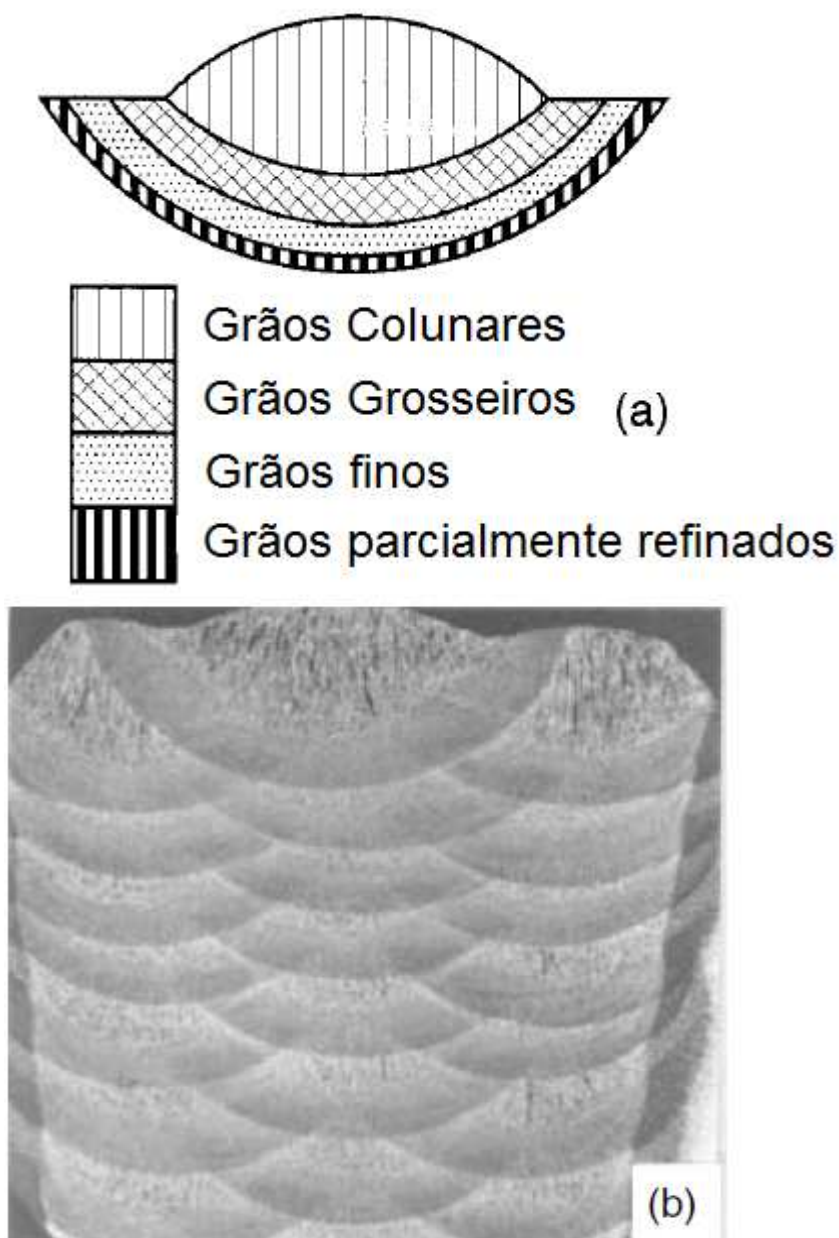
A região do grão parcialmente refinados (posição B) é submetido a uma temperatura de pico apenas acima da efetiva temperatura crítica inferior, A_1 . Tal como foi explicado na Figura 10, as colônias perlita previamente existentes (P) transformam-se em austenita (γ) e expandem-se ligeiramente para as colônias de ferrita previamente existentes (F) após o aquecimento acima de A_1 e depois decompõem-se em grãos extremamente finos de perlita e ferrita durante o resfriamento. As colônias de ferrita previamente existentes permanecem essencialmente inalteradas. A região de refino de grãos (posição C) é submetido a uma temperatura um pouco acima da efetiva temperatura crítica superior A_3 , permitindo assim a nucleação dos grãos da austenita. Esses grãos de austenita decompõem-se em pequenos grãos de perlita e ferrita durante o resfriamento subsequente. A distribuição de perlita e ferrita não é exatamente uniforme porque o tempo de difusão para o carbono é limitada sob a alta taxa de aquecimento durante a soldagem e austenita resultante não é homogênea. A região de grãos grosseiros (posição D) é sujeito a uma temperatura de pico bem acima A_3 , permitindo assim que os grãos de austenita cresçam. A alta taxa de resfriamento e grande tamanho de grãos estimula a ferrita formar placas laterais dos limites de contorno de grãos, chamadas de ferrita de Widmanstätten.

Figura 10 – Mecanismo de refino parcial do grão num aço de carbono.



O engrossamento de grãos perto da linha de fusão resulta em grãos colunares grosseiros na zona de fusão que são significativamente maiores do que os grãos ZTA (em média). Como mostrado na figura 11, em soldagem de passes múltiplos em aços, a zona de fusão de um passe de solda pode ser substituída pela ZTA dos seus passes subsequentes. Este refinamento de grão da zona de fusão de granulação grossa por soldagem de múltiplos passes tem sido relatado para melhorar a tenacidade do metal de solda.

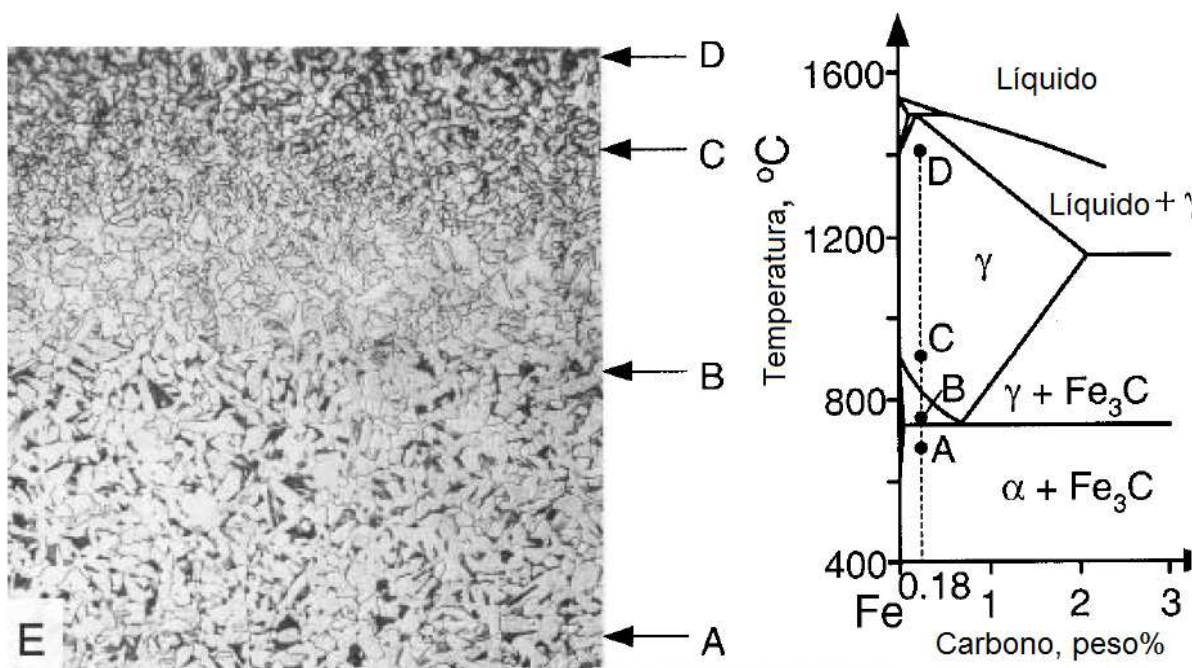
Figura 11 – Refino de grão em soldagem de vários passes: (a) de um único passe de solda; (b) microestrutura de vários passes de solda.



Fonte: Kou *et al* (2002) *apud* Evans *et al* (1980)

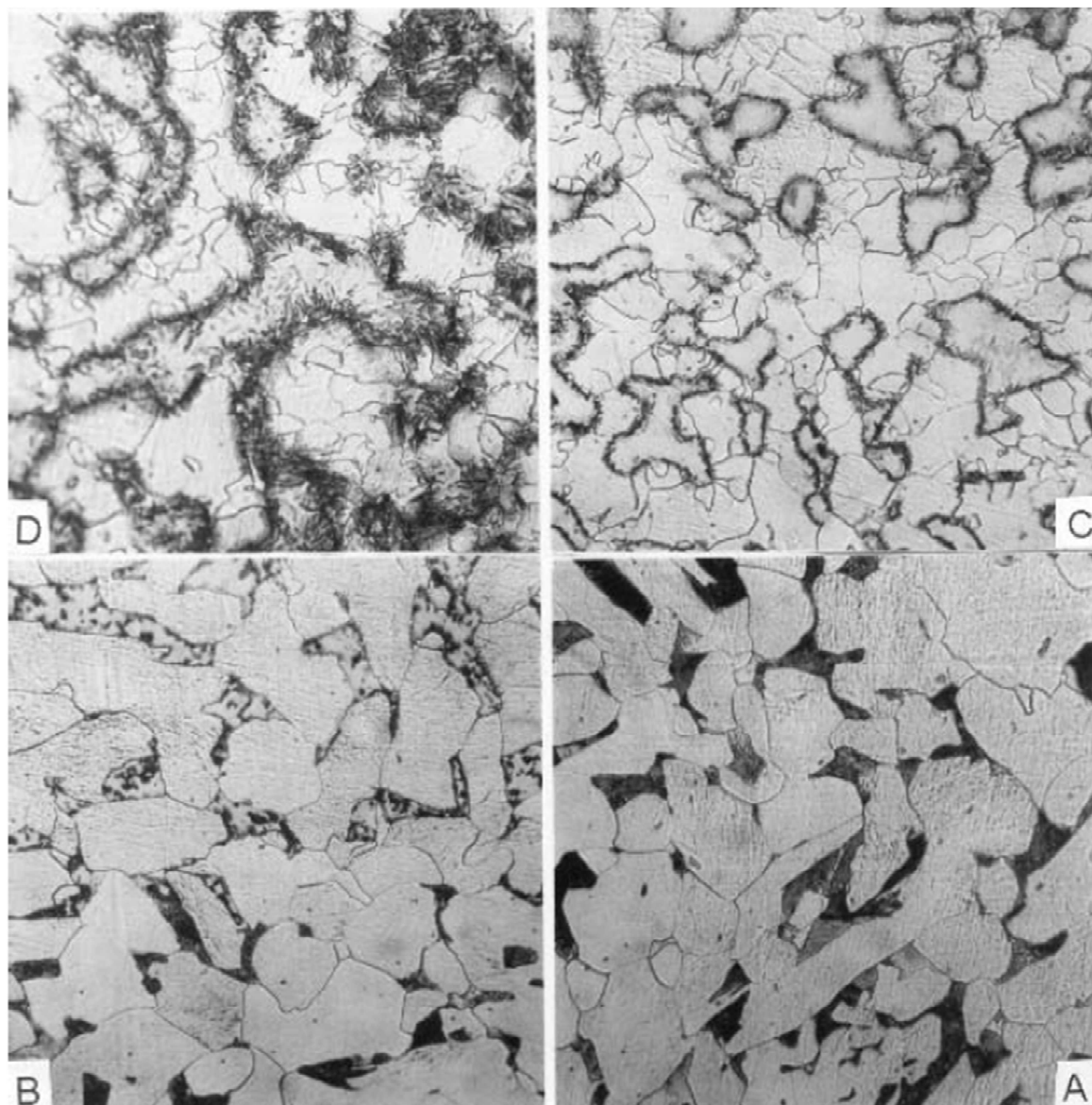
Apesar da martensita não ser normalmente observada no ZTA de um aço de baixo carbono, martensita de alto carbono podem formar-se quando tanto as taxas de aquecimento e as taxas de resfriamento são muito elevadas, como no caso de alguns laser e soldagem por feixe de elétrons. Figuras 12 e 13 mostram a microestrutura da ZTA de um aço 1018 produzido por um feixe de laser de CO₂ de alta potência. Na parte inferior da ZTA (posição B) martensitas de alto carbono (e, talvez, uma pequena quantidade de austenita retida) se forma nas colônias perlita previamente existentes. As austenitas alto teor de carbono formada nessas colônias durante o aquecimento não tiveram tempo para permitir a difusão do carbono para fora, e foram transformadas em martensitas duras e quebradiças de alto teor de carbono durante posterior resfriamento rápido. A martensita dura e quebradiça incorporada numa matriz de ferrita, muito mais macia, pode degradar significativamente as propriedades mecânicas da ZTA. Mais acima na ZTA (posições C e D), tanto o pico de temperatura e o tempo de difusão aumentaram. Como resultado, as colônias de perlita previamente existentes expandidas ao transformar em austenita e colônias de martensita formadas durante o resfriamento subsequente com teores de carbono mais baixos.

Figura 12 – Microestrutura da ZTA do aço 1018 produzido um por um feixe de laser de alta potência de CO₂. Ampliação de 65x.



Fonte: Kou *et al* (2002) *apud* Kou *et al* (1983)

Figura 13 – Microestrutura da ZTA do aço 1018 produzido um por um feixe de laser de alta potência de CO₂. Ampliação de 415x.

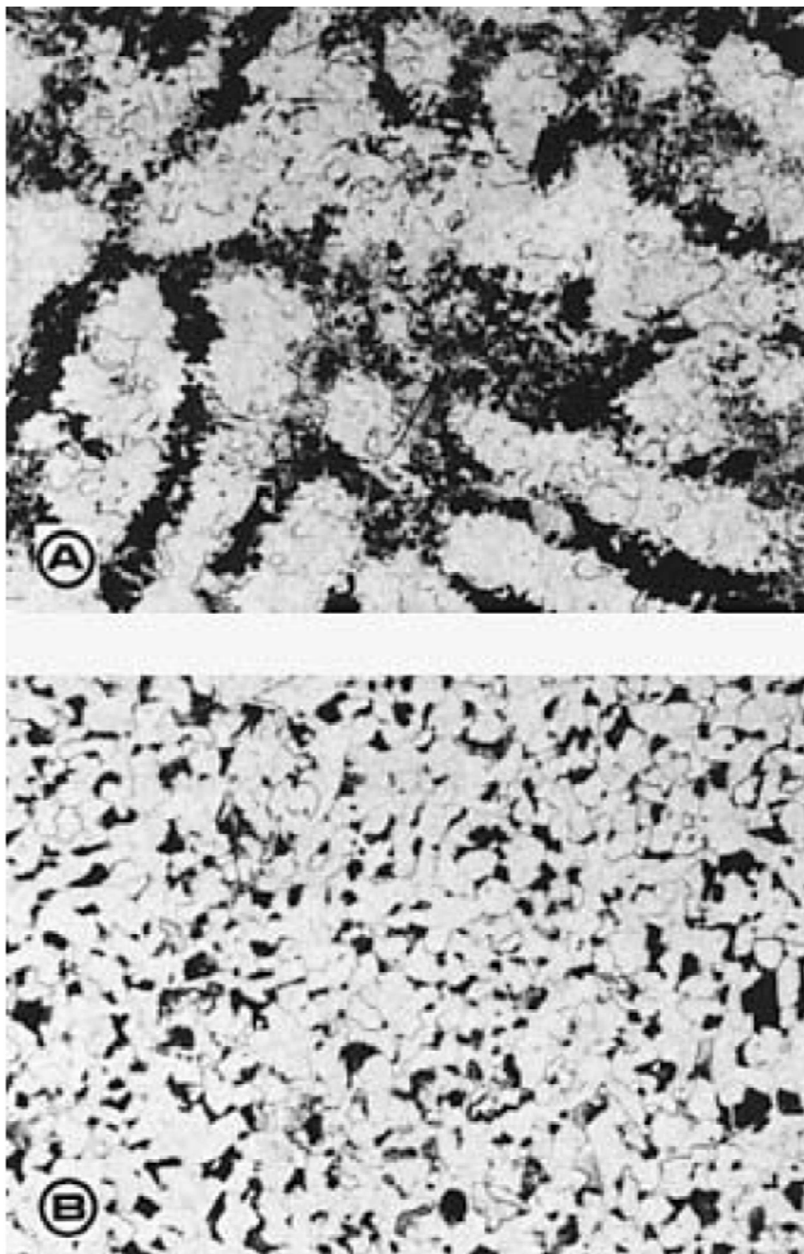


Fonte: Kou *et al* (2002) *apud* Kou *et al* (1983)

Martensita de alta de carbono também pode se formar na ZTA de um aço fundido de baixo carbono, onde microsegregação durante a fundição provocam elevados teores de carbono em áreas interdendríticas. Aidun e Savage (1985) estudaram o reparo de aços fundidos utilizados na indústria da estrada de ferro. Uma série de materiais com 0,21-0,31% C, 0,74-1,57% de Mn, 0,50% de Si, e até cerca de 0,20% de Cr e Mo foram soldadas usando eletrodo revestido E7018. Como um resultado da microsegregação de carbono e elementos de liga durante a fundição, redes contínuas de nódulos de perlita interdendríticas com teores de carbono que variam de

cerca de 0,5 a 0,8% estavam presentes nos materiais como fundido, como mostrado na figura 14a.

Figura 14 – Microestrutura do aço carbono: (a) condição fundida; (b) depois da homogeneização.

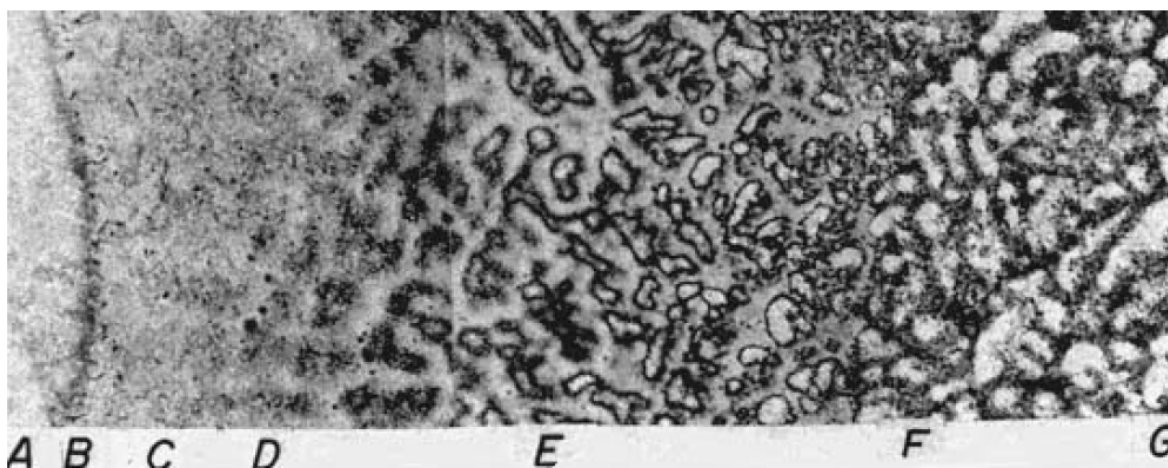


Fonte: Kou *et al* (2002) *apud* Savage *et al* (1985)

A microestrutura da ZTA resultante é mostrada na figura 15. Durante a soldagem dos materiais fundidos, as redes contínuas de nódulos de perlita interdendríticas formou redes contínuas de austenita de alto teor de carbono após o aquecimento, que por sua vez transformou-se em redes contínuas de martensita de alto carbono

mediante resfriamento (região E). As ilhas dispersas nas redes são ferrita não transformada. Estas redes de nódulos de perlita interdendríticas podem ser eliminadas por homogeneização a 954°C durante 2h, como mostrado na figura 14b.

Figura 15 – Microestrutura da ZTA de uma solda de reparo estacionária de um aço carbono fundido. Zona de fusão: A, B; ZTA: C-F; metal de base: G.



Fonte: Kou *et al* (2002) *apud* Savage *et al* (1985)

2.2.2 Recristalização e crescimento de grãos na soldagem

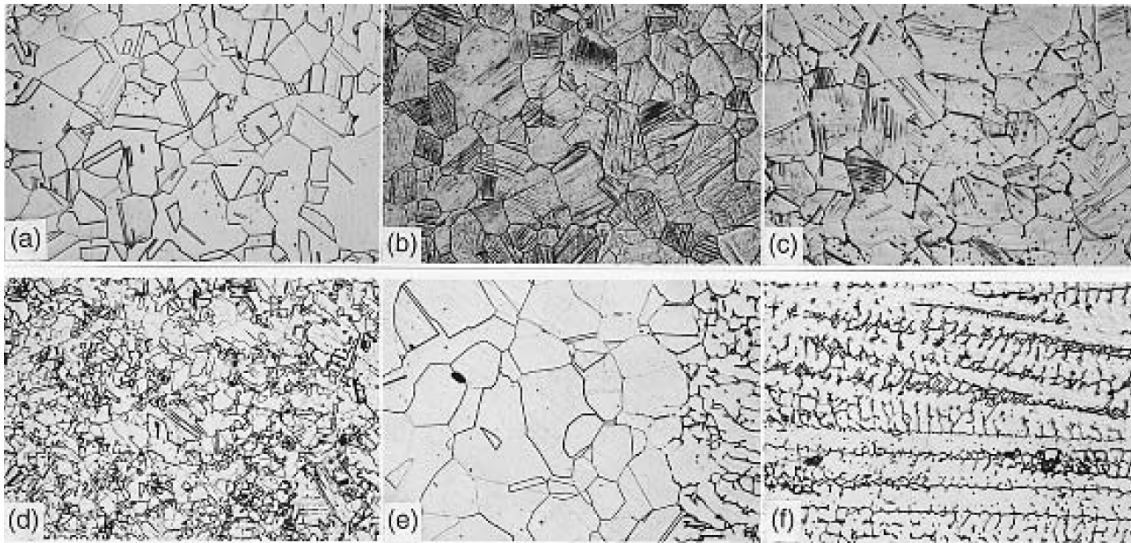
O efeito do encruamento é completamente perdido na zona soldada por causa da fusão e é parcialmente perdido na ZTA por causa de recristalização e crescimento de grão. Essas perdas de resistência devem ser levadas em conta em projetos estruturais envolvendo soldagem.

2.2.2.1 Microestrutura

A figura 16 mostra a microestrutura de solda de um aço inoxidável 304 endurecido por encruamento. A microestrutura do mesmo material antes do endurecimento é também incluída para comparação (Figura 16a). A recristalização (Figura 16d) e o crescimento de grãos (Figura 16e) são evidentes na ZTA. Figura 17 mostra o crescimento do grão na ZTA de uma solda em molibdênio. Intenso

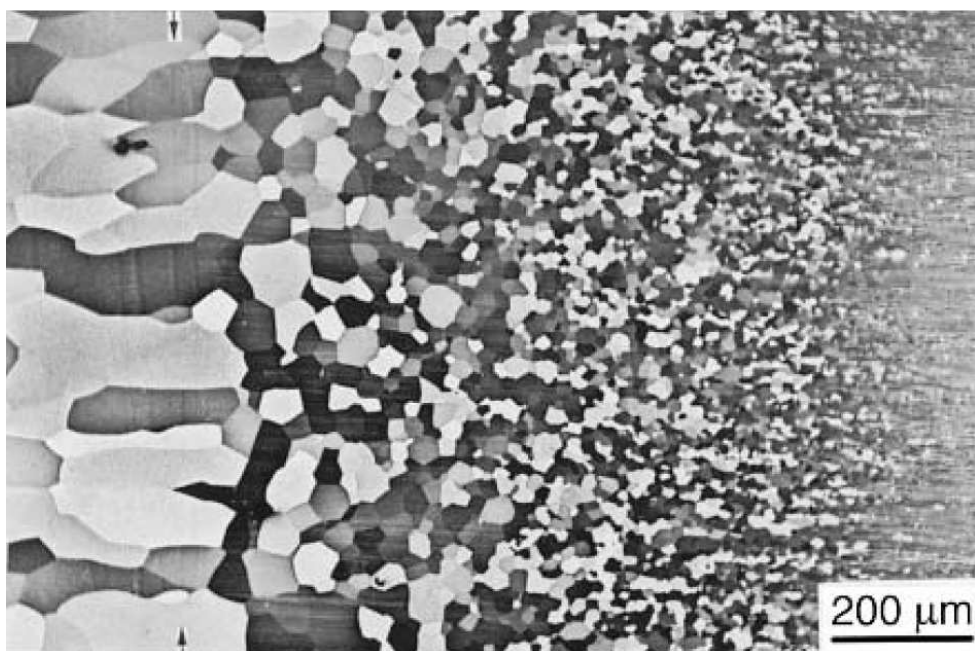
crescimento de grãos na ZTA pode resultar em grãos grosseiros na zona de fusão, por causa do crescimento epitaxial. A tenacidade à fratura é baixa com grãos grosseiros na ZTA e da zona de fusão (KOU, 2002).

Figura 16 - Microestrutura de uma solda de um aço inoxidável 304 endurecido por encruamento: (a) antes de encruamento; (b) metal de base; (c) precipitação de carbonetos nos contornos de grão; (d) recristalização; (e) o crescimento do grão próximo ao limite de fusão; (F) zona de fusão. Ampliação 137x.



Fonte: Kou *et al* (2002) *apud* Metals Handbook *et al* (1972)

Figura 17 - Crescimento de grão em solda por feixe de elétrons em molibdênio. Setas indicando linha de fusão.

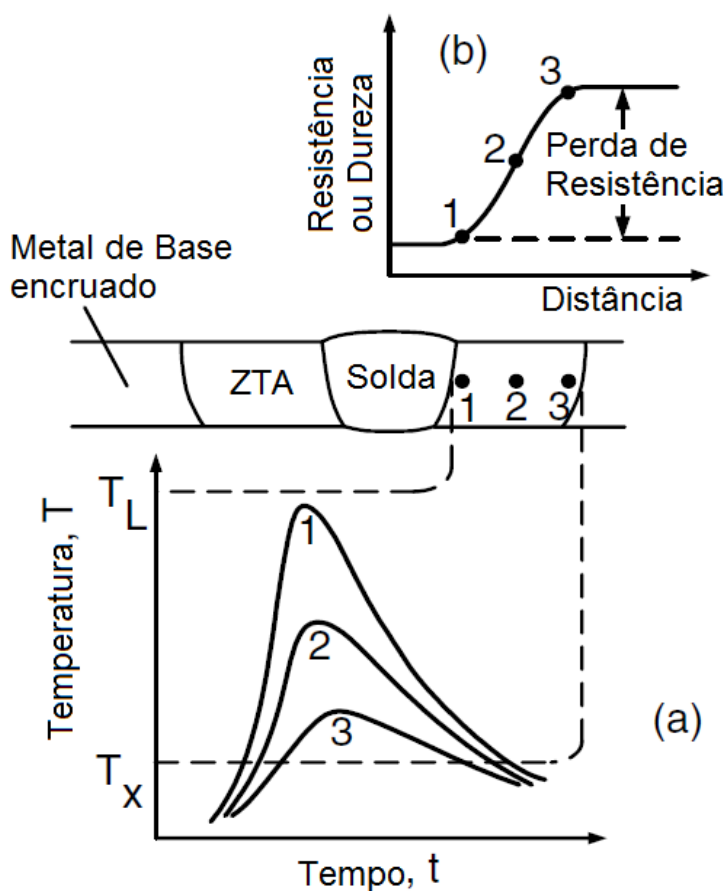


Fonte: Kou *et al* (2002) *apud* Metals Handbook *et al* (1972)

2.2.2.2 Ciclos Térmicos

Segundo KOU (2002), a perda de resistência na ZTA pode ser explicada com a ajuda dos ciclos térmicos, como mostrado na Figura 18. A proximidade da linha de fusão, torna maior a temperatura de pico e por mais tempo o material permanece acima da temperatura de recristalização eficaz, T_x . Sob um rápido aquecimento durante a soldagem, a temperatura de recristalização pode aumentar porque recristalização requer a difusão e a difusão leva tempo. Uma vez que a resistência de um material encruado diminui com o aumento da temperatura de recozimento e o tempo, a resistência ou dureza da ZTA diminui à medida que se aproxima da linha de fusão.

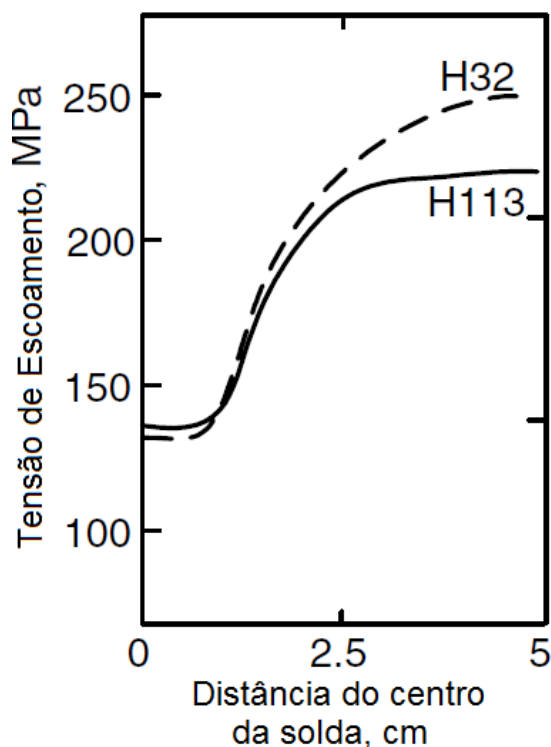
Figura 18 - Amolecimento do material encruado causada pela soldagem: (a) ciclos térmicos; (b) perfil de resistência e dureza.



Fonte: Kou (2002)

Figura 19 mostra os perfis de resistência da ZTA de duas chapas de alumínio 5083 encruadas. Quanto mais duro é o metal de base, maior é a perda de resistência (KOU, 2002).

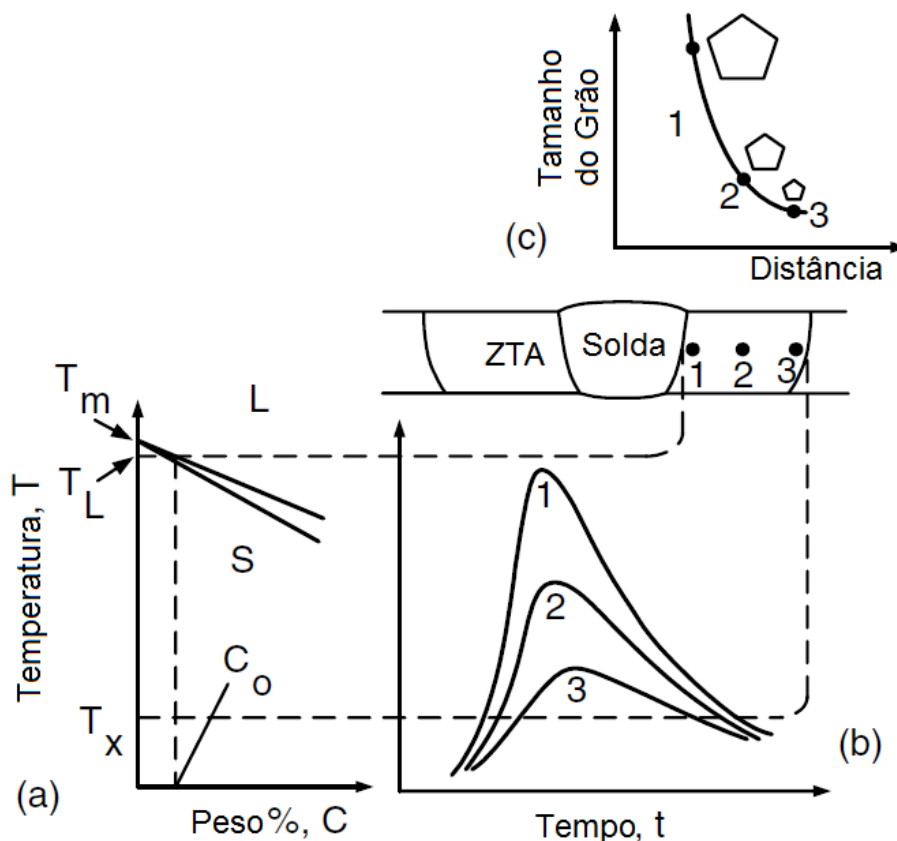
Figura 19 – Perfil de tensão de escoamento na seção transversal de duas chapas de liga de alumínio 5083 encruado.



Fonte: Kou *et al* (2002) *apud* Cook *et al* (1955)

Crescimento de grão na ZTA também pode ser explicado com a ajuda dos ciclos térmicos, como mostrado na Figura 20. Quanto mais próximo da linha de fusão, a temperatura de pico torna-se mais alta e mais tempo o material permanece às temperaturas elevadas. Visto que aumenta o crescimento de grão com o aumento da temperatura de recozimento e o tempo, o tamanho de grão na ZTA aumenta à medida que se aproxima da linha de fusão.

Figura 20 – Crescimento de grão da ZTA: (a) diagrama de fase; (b) ciclo térmico; (c) variação do tamanho de grão.



Fonte: Kou (2002)

2.3 T DE STUDENT

O teste t de Student ou somente teste t é um teste de hipótese que usa conceitos estatísticos para rejeitar ou não uma hipótese nula quando a estatística de teste (t) segue uma distribuição t de Student.

Essa premissa é normalmente usada quando a estatística de teste, na verdade, segue uma distribuição normal, mas a variância da população σ^2 é desconhecida. Nesse caso, é usada a variância amostral s^2 e, com esse ajuste, a estatística de teste passa a seguir uma distribuição t de Student.

A estatística t foi introduzida em 1908 por William Sealy Gosset, químico da cervejaria *Guinness* em Dublin, Irlanda ("Student" era seu pseudônimo). Gosset havia sido contratado devido à política inovadora de Claude Guinness de recrutar os

melhores graduados de Oxford e Cambridge para os cargos de bioquímico e estatístico da indústria Guinness. Gosset desenvolveu o Teste t como um modo barato de monitorar a qualidade da cerveja tipo *stout*. Ele publicou o Teste t na revista acadêmica *Biometrika* em 1908, mas foi forçado a usar seu pseudônimo pelo seu empregador, que acreditava que o fato de usar estatística era um segredo industrial. De fato, a identidade de Gosset não foi reconhecida por seus colegas estatísticos.

Se forem feitas inúmeras amostras de tamanho n a partir da mesma população e se fossem tiradas as médias de uma variável dessa população que possui uma distribuição normal, a distribuição dessas inúmeras médias seguiria uma distribuição t de Student. Por exemplo, imaginemos que a altura das pessoas segue uma distribuição normal. Se selecionarmos diversas amostras aleatórias de 100 pessoas e calculássemos a média da altura das pessoas de cada amostra, essa média da altura das pessoas seguirá uma distribuição t de Student.

Perceba que, na distribuição t de Student, valores muito baixos ou muito altos tem menor probabilidade de ocorrer, indicando que é menos provável que a média de uma amostra apresente valores muito distantes da média da população.

O formato da distribuição t de Student depende do número de graus de liberdade. Quanto maior o número de graus de liberdade, mais "concentrada" é a distribuição. Para valores muito grandes de graus de liberdade, a distribuição t de Student se aproxima da distribuição normal.

O Teste t consiste em formular uma hipótese nula e conseqüentemente uma hipótese alternativa, calcular o valor de t conforme a fórmula apropriada e aplicá-lo à função densidade de probabilidade da distribuição t de Student medindo o tamanho da área abaixo dessa função para valores maiores ou iguais a t. Essa área representa a probabilidade da média dessa(s) amostra(s) em questão ter(em) apresentado o(s) valor(es) observado(s) ou algo mais extremo. Se a probabilidade desse resultado ter ocorrido for muito pequena, podemos concluir que o resultado observado é estatisticamente relevante. Essa probabilidade também é chamada de p-valor ou valor p. Conseqüentemente, o nível de confiança α é igual a $1 - p$ -valor.

Normalmente é usado um "ponto de corte" para o p-valor ou para o nível de confiança para definir se a hipótese nula deve ser rejeitada ou não. Se o p-valor for menor que esse "ponto de corte", a hipótese nula é rejeitada. Caso contrário, a hipótese nula não é rejeitada.

É comum que sejam usados os "pontos de corte" para p-valor 0,1%, 0,5%, 1%, 2% ou 5%, fazendo com que os níveis de confiança sejam, respectivamente, 99,9%, 99,5%, 99%, 98% ou 95%. Caso seja usado o p-valor 5% como "ponto de corte" e a área abaixo da função densidade de probabilidade da distribuição t de Student seja menor do que 5%, pode-se afirmar que a hipótese nula é rejeitada com nível de confiança de 95%.

Note que não rejeitar a hipótese nula não é a mesma coisa que afirmar que a hipótese alternativa é válida com o mesmo nível de confiança. Isso seria uma interpretação incorreta do teste.

2.3.1 Unicaudal vs. Bicaudal

Dependendo da definição da hipótese nula, deve ser usado uma ou duas caudas da distribuição t de Student na avaliação do teste. Por exemplo, se a hipótese nula for $\pi \leq \mu_0$ e a hipótese alternativa $\pi > \mu_0$, o teste deve ser feito somente para valores maiores do que t e, portanto, ao consultar a função densidade de probabilidade da distribuição t de Student, deve-se considerar somente a área superior a t, ou seja, somente uma das "caudas" da distribuição.

Por outro lado, se a hipótese nula for $\pi = \mu_0$ e, conseqüentemente, a hipótese alternativa $\pi \neq \mu_0$, teríamos que avaliar ao mesmo tempo a possibilidade de $\pi < \mu_0$ e de $\pi > \mu_0$. Para isso, ao consultar a função densidade de probabilidade da distribuição t de Student, devem ser consideradas as áreas abaixo da curva para valores superiores a t e inferiores a -t, ou seja, as duas "caudas" da distribuição. Como a distribuição é simétrica, os tamanhos dessas áreas são iguais.

O teste t para média de uma amostra consiste em medir a probabilidade da média da amostra em questão ter apresentado o valor observado π ou algo mais extremo, dada a média da população μ_0 .

Para fazer isso, estipulamos, por exemplo, que a hipótese nula é $\pi \leq \mu_0$ e que, por conseqüência, a hipótese alternativa é $\pi > \mu_0$. Usa-se a seguinte fórmula para o cálculo da estatística t:

$$t = \frac{\pi - \mu_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

Onde:

π : Média da amostra;

μ_0 : Valor fixo usado para comparação com a média da amostra;

s: Desvio padrão amostral;

n: Tamanho da amostra.

Quanto maior t, mais confiança temos ao rejeitar a hipótese nula, ou seja, mais certeza temos ao afirmar que $\pi \leq \mu_0$ não é verdadeiro.

Note que, na fórmula acima, quanto maior $\pi - \mu_0$, maior será t. Ou seja, quanto maior a distância dos valores observados ao valor que estamos comparando, mais certeza teremos em afirmar que eles são diferentes. Do mesmo modo, t aumenta quando o tamanho da amostra n é maior ou quando o desvio padrão s é menor. Teoricamente, o desvio padrão a ser usado deveria ser o da população (normalmente identificado com o símbolo σ), mas em muitos casos práticos esse valor é desconhecido, sendo necessário aproximá-lo pelo desvio padrão amostral s:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \pi)^2}$$

2.4 TESTE DE HIPÓTESE

O procedimento associado com o teste da diferença entre duas médias é similar ao utilizado no teste de um valor hipotético da média populacional, exceto pelo fato de se utilizar o erro padrão da diferença entre médias como base para se determinar o valor da estatística de teste associada com os resultados das amostras.

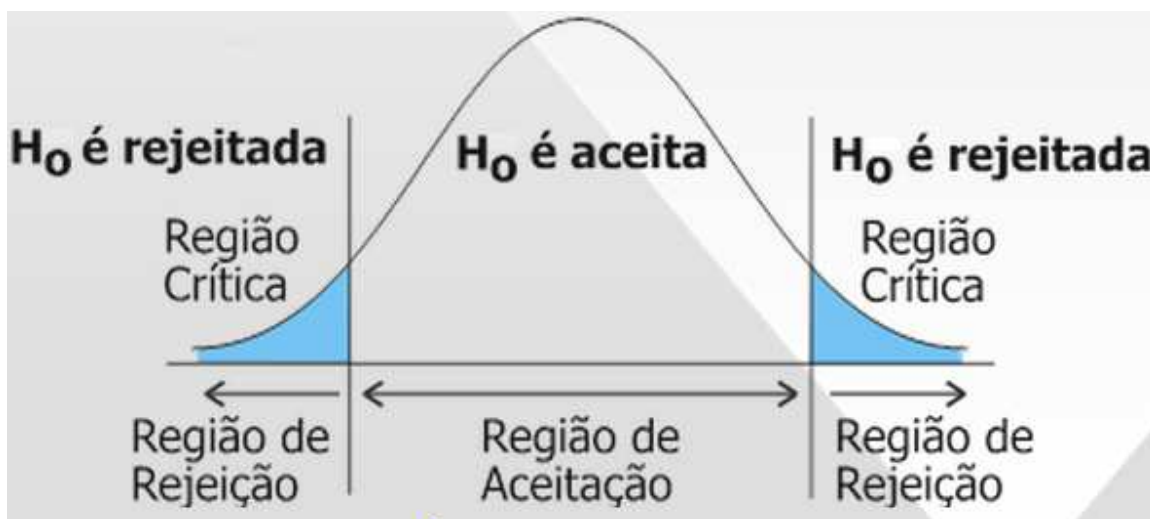
A hipótese nula (H_0) usualmente testada é a de que as duas amostras tenham sido obtidas de populações com médias iguais, ou seja $(\pi_1 - \pi_2) = 0$.

O uso da distribuição normal, nesse caso, está baseado nas mesmas condições que o caso de uma média (ou uma amostra), exceto que estão envolvidas duas amostras independentes. Na prática dizemos que a distribuição normal pode ser utilizada quando o desvio-padrão da população σ (sigma) for conhecido ou as variâncias forem conhecidas.

O valor da estatística do teste, no caso, o valor Z, é calculado supondo que a hipótese nula (H_0) é verdadeira. No entanto, o valor calculado pode estar associado a uma probabilidade de ocorrência muito baixa. Nesse caso, a hipótese nula deve ser rejeitada e aceitamos a hipótese alternativa. A região crítica é a região onde H_0 é rejeitada. A área da região crítica é igual ao nível de significância (α), que estabelece a probabilidade de rejeitar H_0 quando ela é verdadeira. Por exemplo, se utilizarmos o nível de significância de 5%, a probabilidade de rejeitar H_0 quando ela é verdadeira é igual a 5%. Na prática, os valores usuais de alfa (α) são = 0,01 ou 0,05 ou 0,10.

Se o valor da estatística do teste cair na região crítica (figura 21), rejeita-se H_0 . Ao rejeitar a hipótese nula (H_0) existe uma forte evidência de sua falsidade. Ao contrário, quando aceitamos, dizemos que não houve evidência amostral significativa no sentido de permitir a rejeição de H_0 .

Figura 21 – Região de aceitação e rejeição da curva de distribuição.



Fonte: PPGEF/UFRGS

Testes bilaterais e unilaterais

Se a hipótese nula e alternativa de um teste de hipóteses são:

$$H_0: \mu = \mu_0$$

$$H_1: \mu \neq \mu_0$$

onde μ_0 é uma constante conhecida, o teste é chamada de teste bilateral.

Em muitos problemas tem-se interesse em testar hipótese do tipo:

$$H_0: \mu = \mu_0$$

$$H_1: \mu < \mu_0$$

o teste é chamado de teste unilateral esquerdo. E quando

$$H_0: \mu = \mu_0$$

$$H_1: \mu > \mu_0$$

o teste é chamada de teste unilateral direito.

Populações normais com variâncias conhecidas

Consideremos duas populações normais independentes com médias π_1 e π_2 e variâncias σ_1^2 e σ_2^2 , sendo n_1 e n_2 duas amostras independentes obtidas, respectivamente, dessas populações, e \bar{x}_1 e \bar{x}_2 suas médias.

A estatística de teste a ser usada é:

$$Z = \frac{\pi_1 - \pi_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}}$$

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Os testes foram realizados em 3 CP iguais constituídos nos materiais seguintes:

Chapa: Aço Carbono LQ (Laminada à Quente), *ASME (American Society of Mechanical Engineers) SA-516M* Grau 415 Ed. 2010 Ad. 2011 – espessura: 25,4 mm e 9,53 mm.

A composição química nominal do SA-516M Grau 415 pode ser vista na tabela 1, juntamente com as propriedades mecânicas na tabela 2.

Tabela 1 - Composição Química do *ASME SA-516M* Grau 415 (valores dos elementos em %).

C (máx)	Mn	P (máx)	S (máx)	Si	Ceq
0,23	0,79 – 1,30	0,035	0,035	0,13 – 0,45	0,40

Fonte: *ASME II Parte A* Ed. 2010 Ad. 2011

Tabela 2 - Propriedades Mecânicas *ASME SA-516M* Grau 415.

Tensão de Escoamento	Tensão de Ruptura	Elongação
220 MPa	415 – 550 MPa	21%

Fonte: *ASME II Parte A* Ed. 2010 Ad. 2011

Tubo: Aço Carbono sem costura, *ASME SA-106M* Grau B Ed. 2010 Ad. 2011, *ASME B36.10M* Ed. 2004 – 4" *Sch (Schedule) 40* (espessura de 6 mm).

A composição química nominal do SA-106M Grau B pode ser vista na tabela 3, juntamente com as propriedades mecânicas na tabela 4.

Tabela 3 - Composição Química do *ASME SA-106M* Grau B (valores dos elementos em %).

C (máx)	Mn	P (máx)	S (máx)	Si (mín)	Cr (máx)	Cu (máx)	Mo (máx)	Ni (máx)	V (máx)	Ceq
0,30	0,29 – 1,06	0,035	0,035	0,10	0,40	0,40	0,15	0,40	0,08	0,59

Fonte: *ASME II Parte A* Ed. 2010 Ad. 2011

Tabela 4 - Propriedades Mecânicas ASME SA-106M Grau B.

Tensão de Escoamento	Tensão de Ruptura	Elongação
240 MPa	415 MPa	22%

Fonte: ASME II Parte A Ed. 2010 Ad. 2011

Metal de Adição – Aço Carbono: Vareta ER70S-3 UNS K11022 ASME SFA 5.18 Ed. 2010 Ad. 2011 \varnothing 2,4 mm e \varnothing 3,2 mm.

A composição química nominal da vareta ER70S-3 pode ser vista na tabela 5, juntamente com as propriedades mecânicas na tabela 6.

Tabela 5 - Composição Química do ER70S-3 (valores dos elementos em %).

C	Mn	Si (máx)	P (máx)	S (mín)	Ni (máx)	Cr (máx)	Mo (máx)	V (máx)	Cu (máx)
0,06 – 0,15	0,90 – 1,40	0,45 – 0,75	0,025	0,035	0,15	0,15	0,15	0,03	0,50

Fonte: ASME II Parte C Ed. 2010 Ad. 2011

Tabela 6 - Propriedades Mecânicas do ER70S-3.

Tensão de Escoamento	Tensão de Ruptura	Elongação
400 MPa	480 MPa	22%

Fonte: ASME II Parte C Ed. 2010 Ad. 2011

Gás de Proteção: Argônio comprimido – 99,98 % de pureza – Vazão 12 l/min (passe de raiz) a 32 l/min (demais passes)

A máquina de soldagem utilizada foi uma fonte inversora Miller CST 280, na polaridade CC (Corrente Contínua), verificada quanto à calibração antes do procedimento.

3.2 PREPARAÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA

Os CP foram confeccionados em aço carbono, utilizando chapas de SA-516M Grau 415 e tubos de SA-106M Grau B. Suas dimensões são descritas com maiores detalhes no Anexo B - Desenho dos CP para fabricação. As chapas de 25,4 mm foram

utilizadas para simulação do costado do equipamento enquanto as chapas de 9,53 mm foram soldadas conforme figura 22, para impedir que na soldagem as chapas de 25,4 mm, já calandradas, retornassem à posição plana por causa das tensões de soldagem. Na figura 23, é apresentada uma simulação feita em *software* de CAD (*Computer-Aided Design*) 3D para melhor entendimento da configuração final do CP. Essa configuração foi adotada pelos seguintes motivos:

- Ter igual disposição de *Half-pipes* e materiais de um equipamento real, utilizado nas indústrias;
- Com três tubos o soldador pode testar as principais condições de soldagem de serpentina no campo – soldagem horizontal (H) na junta de filete, soldagem sobre-cabeça (S) nas juntas de filetes e soldagem vertical na junta de topo.

O rasgo central no tubo do meio foi adotado apenas para possibilitar a visualização da raiz da solda, no momento da soldagem para ajuste dos parâmetros de soldagem.

Figura 22 - Chapas de 9,53 mm soldadas travando a chapa de 25,4 mm.

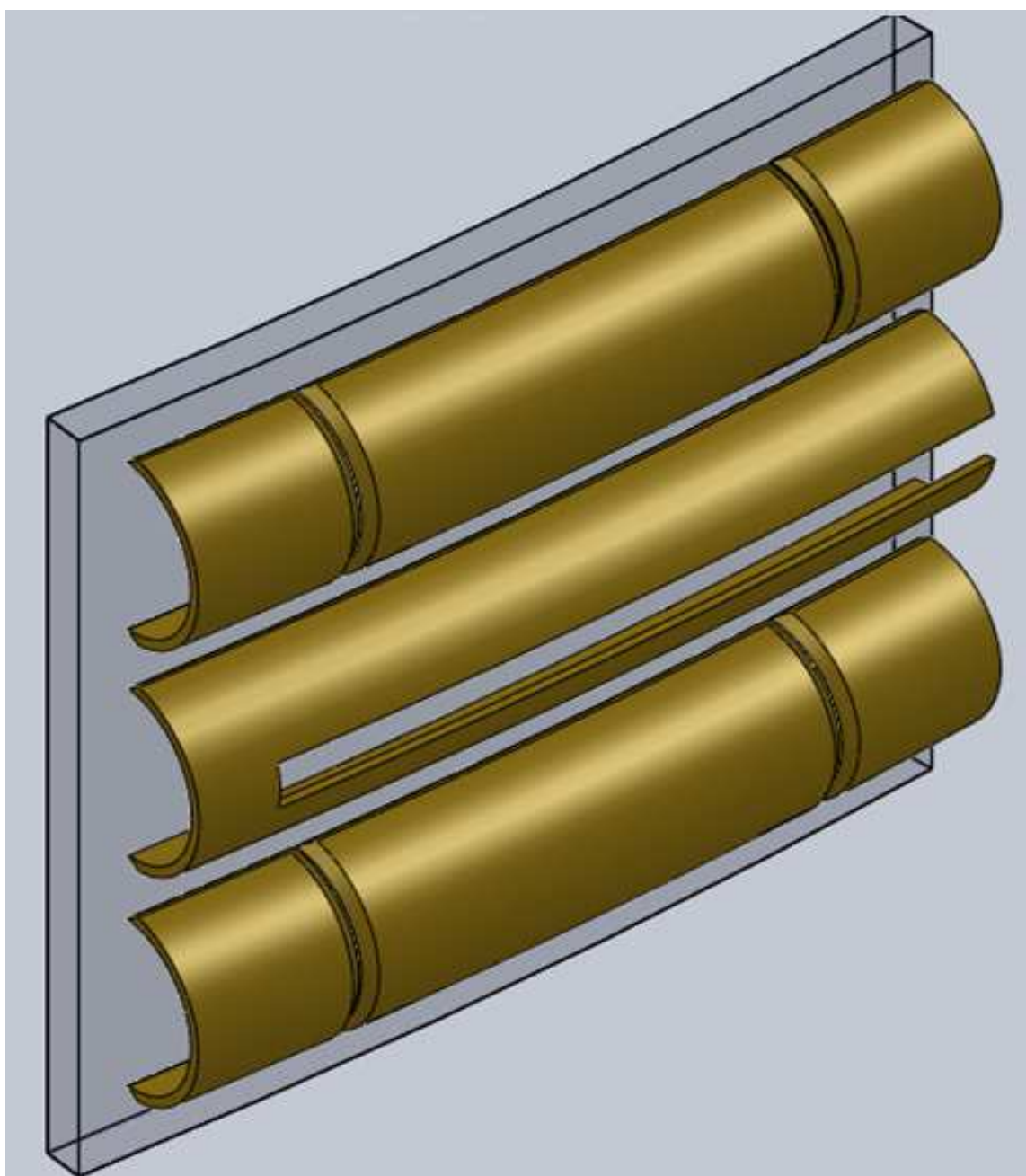


Fonte: Próprio autor

As chapas e tubos foram calandrados em acordo com dimensões reais de um equipamento de processo existente. Conforme dados no Anexo B - Desenho dos CP para fabricação. Com chanfro para junta de topo conforme figura 24 e para junta de filete conforme figura 25.

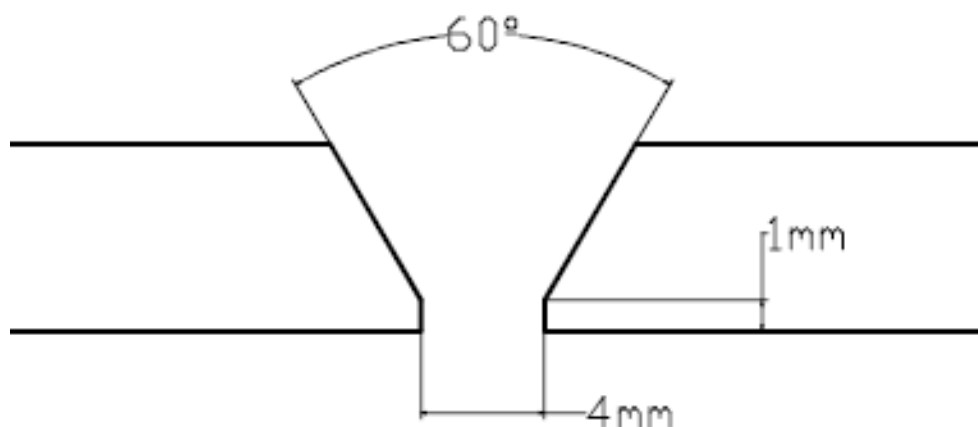
As chapas foram cortadas pelo processo de plasma e os tubos com esmerilhadeira.

Figura 23 - Simulação em 3D da configuração dos CP.

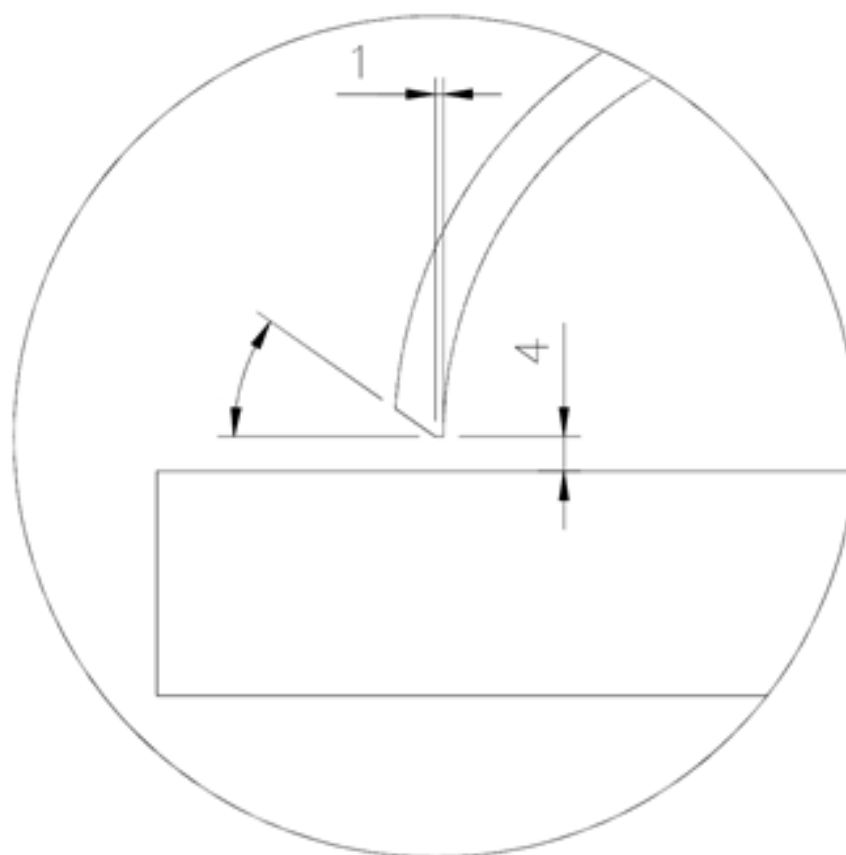


Fonte: Próprio autor

Figura 24 - Configuração de chanfro para junta de topo.



Fonte: Próprio autor

Figura 25 - Configuração de chanfro para junta de filete de 35° .

Fonte: Próprio autor

Os CP foram soldados na posição conforme mostrada na figura 26, simulando o equipamento em campo.

Figura 26 - Soldador em posição de soldagem simulando condição de campo.



Fonte: Próprio autor

3.3 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

O processo experimental iniciou-se com a preparação das partes dos CP. Para esse trabalho foram estudadas as três posições soldagem possíveis, horizontal (H) na junta de filete, sobre-cabeça (S) nas juntas de filetes e vertical na junta de topo.

Foram utilizadas ângulo de chanfro de 60°, largura de nariz de 1 mm e abertura de raiz de 4 mm para a juntas de topo (figura 24) e chanfro de 35°, largura de nariz de 1 mm e abertura de raiz de 4 mm para a juntas de filetes (figura 25).

O processo de soldagem utilizado foi *TIG/GTAW*.

Precedendo a soldagem, se fez a limpeza das peças e aplicação de verniz protetivo antioxidante (esse verniz permite soldagem das peças sem a necessidade de remoção) (figura 27), pré-montagem do conjunto conforme especificações descritas no ANEXO B – Desenho dos CP para fabricação (figura 28) e pontearam-se os tubos nas chapas para evitar que, no processo de soldagem, o conjunto sofresse

alteração de posicionamento relativo (ex.: mudança na abertura da raiz, deslocamento lateral do tubo, etc.).

Figura 27 - Limpeza das chapas e tubos e aplicação de verniz protetor.



Fonte: Próprio autor

Figura 28 - Ponteamento e pré-montagem dos CP.



Fonte: Próprio autor

Após parametrização, onde o soldador sinalizou os melhores parâmetros de soldagem para condição estabelecida, a soldagem foi iniciada utilizando o mesmo soldador e equipamentos de medição. Tempo, corrente, tensão, temperatura dos CP foram registrados ao longo da soldagem de cada junta.

Após soldagem, os CP foram submetidos ao EVS (Ensaio Visual de Solda) e ao LP (Líquido Penetrante), figura 29. Depois dos ensaios, foram retiradas amostras com esmerilhadeira, conforme figura 30, para envio ao laboratório.

Foram realizadas análises macrográficas, análises micrográficas, ensaios de microdureza em uma amostra de junta de topo e de filete de cada CP.

Figura 29 - LP nas soldas do CP.



Fonte: Próprio autor

Figura 30 - CP após destaque das amostras.



Fonte: Próprio autor

3.4 PARÂMETROS DE SOLDAGEM

Os parâmetros de soldagem utilizados foram extraídos das EPS (Especificação de Procedimento de Soldagem) AC-01, AC-02 e AC-03 (Anexo A) para as juntas de filete horizontal, filete vertical e topo, respectivamente, conforme tabela resumo abaixo:

Tabela 7 - Parâmetros de soldagem junta de filete horizontal.

Camada	Processo	Metal de Adição		Corrente Tipo/Polar.	Faixa de Corrente	Faixa de Tensão	Velocidade
		Classe	Diâmetro				
1	<i>TIG (GTAW)</i>	ER 70S-3	2,4 mm	CC-	130,0 A – 138,9 A	10,0 V – 12,5 V	21,35 – 88,36 mm/min
2	<i>TIG (GTAW)</i>	ER 70S-3	3,25 mm	CC-	205,9 A – 230,8 A	12,3 V – 14,1 V	71,74 – 113,92 mm/min
3	<i>TIG (GTAW)</i>	ER 70S-3	2,4 mm 3,25 mm	CC-	188,3 A – 230,7 A	11,8 V – 14,0 V	90,45 – 141,18 mm/min

Fonte: EPS AC-01

Tabela 8 – *Heat Input* para a junta de filete horizontal.

Camada	1	2	3
<i>Heat Input</i>	1,03 – 2,11 kJ/mm	1,63 – 2,20 kJ/mm	1,06 – 1,71 kJ/mm

Fonte: EPS AC-01

Tabela 9 - Parâmetros de soldagem junta de filete sobre-cabeça.

Camada	Processo	Metal de Adição		Corrente Tipo/Polar.	Faixa de Corrente	Faixa de Tensão	Velocidade
		Classe	Diâmetro				
1	<i>TIG (GTAW)</i>	ER 70S-3	2,4 mm	CC-	124,0 A – 144,5 A	10,6 V – 12,4 V	37,04 – 49,41 mm/min
2	<i>TIG (GTAW)</i>	ER 70S-3	3,25 mm	CC-	188,6 A – 209,4 A	11,3 V – 14,0 V	61,36 – 73,53 mm/min
3	<i>TIG (GTAW)</i>	ER 70S-3	2,4 mm 3,25 mm	CC-	170,0 A – 208,3 A	12,1 V – 12,9 V	80,95 – 117,50 mm/min

Fonte: EPS AC-02

Tabela 10 – *Heat Input* para a junta de filete sobre-cabeça.

Camada	1	2	3
<i>Heat Input</i>	1,67 – 2,23 kJ/min	1,89 – 2,21 kJ/min	1,08 – 1,88 kJ/min

Fonte: EPS AC-02

Tabela 11 - Parâmetros de soldagem junta de topo vertical.

Camada	Processo	Metal de Adição		Corrente Tipo/Polar.	Faixa de Corrente	Faixa de Tensão	Velocidade
		Classe	Diâmetro				
1	<i>TIG (GTAW)</i>	ER 70S-3	2,4 mm	CC-	106,0 A – 114,0 A	10,5 V – 12,3 V	54,31 – 80,0 mm/min
2	<i>TIG (GTAW)</i>	ER 70S-3	3,25 mm	CC-	159,1 A – 159,7 A	10,0 V – 12,0 V	73,85 – 113,33 mm/min
3	<i>TIG (GTAW)</i>	ER 70S-3	3,25 mm	CC-	159,0 – 159,9 A	11,4 V – 13,0 V	83,32 – 120,0 mm/min

Fonte: EPS AC-03

Tabela 12 – *Heat Input* para a junta de topo vertical.

Camada	1	2	3
<i>Heat Input</i>	0,83 – 1,41 kJ/mm	0,91 – 1,55 kJ/mm	0,92 – 1,49 kJ/mm

Fonte: EPS AC-03

O acompanhamento foi executado passe a passe, confrontando os parâmetros registrados nos instrumentos (figura 31) com a faixa delimitada pelas EPS. Todos os instrumentos foram calibrados e estavam dentro do prazo de validade informado nos certificados de calibração. Os instrumentos usados foram listados a seguir:

- Termômetro Digital infravermelho: ICEL TD-971 (figura 32)
- Alicata Volt-amperímetro: Fluke 376 CA/CC com iFlex (figura 31)
- Cronômetro: HERWEG 8905 (figura 32)

Figura 31 - Alicate Volt-amperímetro instalado na máquina CST 280.



Fonte: Próprio autor

Observação: Os cabos selecionados para uso foram do tipo AWG para 350 Amperes. Para cabos com essa especificação a queda de tensão máxima permitida é de 4 Volts para o comprimento total do cabo ou uma densidade máxima de corrente de 6,6 A/mm². Como a variação de corrente e de tensão não são variáveis essenciais para o processo *GTAW*, de acordo com o ASME IX Ed. 2010 Ad. 2011, a medição na saída da fonte para todos os CP foi adotada.

Figura 32 - Termômetro digital infravermelho verificando a temperatura na face oposta da solda em execução e Cronômetro em verificação no experimento.



Fonte: Próprio autor

3.5 ANÁLISE METALGRÁFICA E MICRODUREZA

As análises metalográfica e de microdureza foram utilizadas para visualização das estruturas da ZTA dos materiais pós-soldagem.

3.5.1 Corte e Preparação da Amostra

As amostras inicialmente foram destacadas dos CP por intermédio do uso de esmerilhadeira, conforme figura 33.

Figura 33 - Amostras cortas para ensaio metalográfico e microdureza.



Fonte: Próprio autor

3.5.2 Macrografia

Como objetivo de distinguir o metal de solda, a ZTA e o metal de base, as amostras preparadas foram submetidas ao ataque químico com reagente Adler.

Essas amostras, depois de atacadas, foram visualizadas no microscópio estereoscópico binocular com o aumento de 10x e fotografadas.

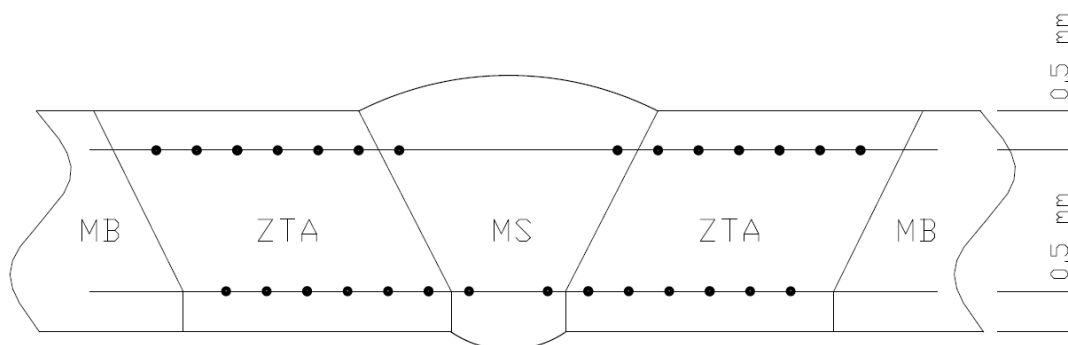
Utilizando os registros fotográficos de cada amostra, foram feitos os dimensionamentos dos tamanhos das ZTA e dos metais de solda utilizando o *software* de CAD 2D.

3.5.3 Microdureza

Após a identificação do metal de solda, ZTA e metal de base, as amostras utilizadas na macrografia foram utilizadas para medições de microdureza num Durômetro de bancada Reicherter de escala Vickers com carga de 20 kgf conforme recomenda a norma *ASTM (American Society for Testing and Materials) E92*. Os ensaios de microdureza foram feitos nas regiões da ZTA e metal de solda, seguindo os perfis de medição mostrados nas figuras 34 e 35. Foram usadas duas linhas de referência para orientação das medições, uma linha próxima do passe de acabamento

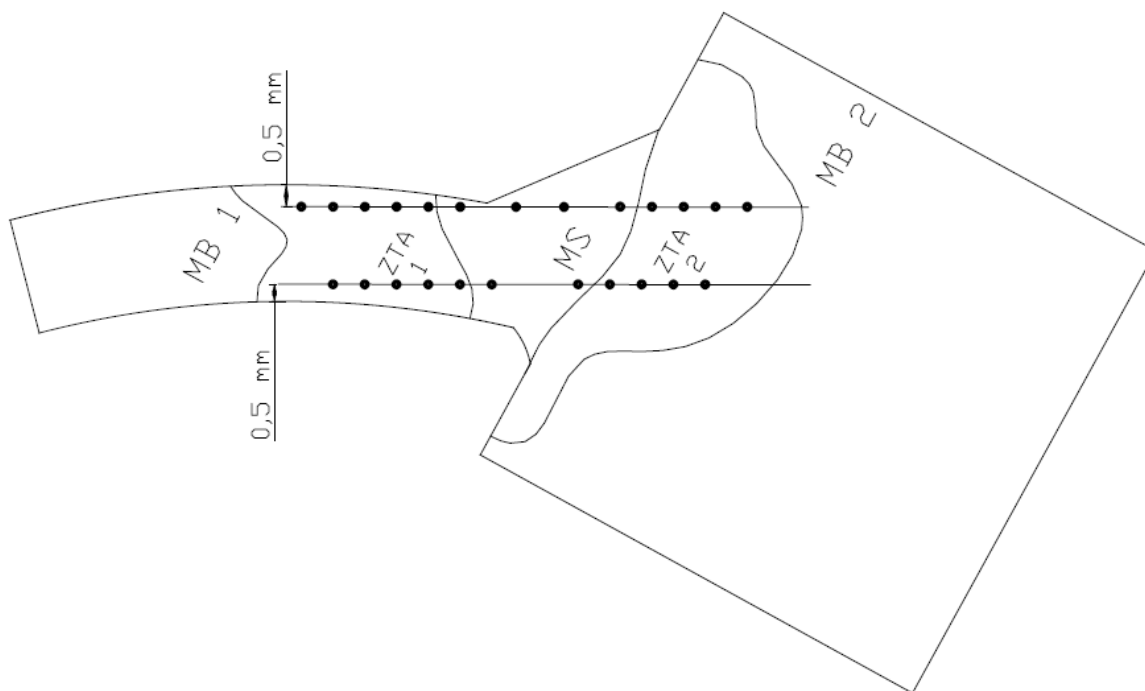
e outra linha próxima do passe de raiz. A distância das linhas de referências para a face e para raiz é de 0,5 mm.

Figura 34 - Perfil de microdureza para junta de topo.



Fonte: Próprio autor

Figura 35 - Perfil de microdureza para junta de filete.



Fonte: Próprio autor

O ASME II parte A, C e D Ed. 2010 Ad. 2011 não citam valores para a dureza máxima recomendada para o SA-516M Grau 415, SA-106M Grau B ou ER70S-3, por isso utilizou-se como critério os requisitos da ANSI (*American National Standards Institute*) / NACE (*National Association of Corrosion Engineers*) MR0175 / ISO (*International Organization for Standardization*) 15156:2003/Circular 1: 2007 parte 2. Para o aço carbono, dureza máxima aceitável é de 250 HV (*Vickers Hardness*).

3.5.4 Micrografia

As amostras, após o ensaio de microdureza, foram submetidas ao lixamento e polimento utilizado para preparação inicial, para remover a camada atacada no ensaio de macrografia.

O reagente para os ataques químicos foi o Nital 1% para visualização de todas as estruturas.

Em sequência ao processo de ataque químico, as amostras foram levadas ao microscópio para visualização e fotografia.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo serão apresentados os resultados e análises obtidos por intermédio dos ensaios e inspeções executadas nos CP.

4.1 PARÂMETROS DE SOLDAGEM


Os parâmetros de soldagem foram controlados e permaneceram dentro dos intervalos restringidos pelas respectivas EPS. Como para o *ASME IX* Ed. 2010 Ad. 2011, no processo de soldagem *TIG*, a variação de *Heat Input* não é variável essencial, a influência da variação de valores de *Heat Input* dentro do intervalo determinado pela EPS foi desconsiderada para esse trabalho.

4.2 ANÁLISE METALOGRÁFICA E MICRODUREZA

4.2.1 Macrografia

As soldas de topo tiveram áreas de solda semelhantes entre si e ZTA com áreas semelhantes, conforme tabela 13 e verificação por *t* de Student. As medições foram feitas utilizando o *software* de *CAD 2D*.

Tabela 13 - Dimensionamento de ZTA e área de solda para a junta de topo.

	ZTA total nos tubos: 34,89 mm ²
	Área de solda: 59,47 mm ²

Fonte: Próprio autor

Analisando as ZTA é necessário fazer uma análise estatística para verificar se as mesmas diferem significativamente do valor de referência. Para isso utilizou-se a ferramenta estatística t de Student para avaliar esse quesito. O valor de referência foi a própria média da amostra.

As hipóteses para o caso estudado que foram:

- Área de ZTA não difere significativamente do valor de referência (hipótese nula)
- Área de ZTA difere significativamente do valor de referência (hipótese alternativa)

A tabela 14 apresenta o valor de t de Student calculado e o intervalo de confiança utilizado para análise a partir dos valores medidos para junta de topo.

Tabela 14 – Avaliação de t de Student para ZTA da junta de topo.

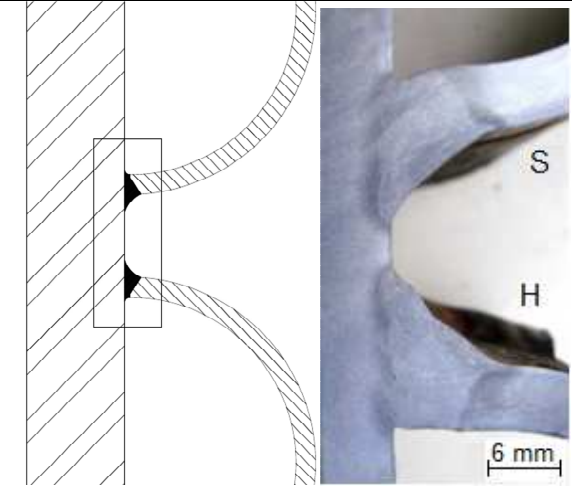
Informação	Valor
t	0,00159132205804418
Graus de Liberdade	2
p-valor	0,998874766094048
Média Amostral	39,07333333333333
Desvio padrão amostral	3,628117050666
Tamanho da amostra	3
Hipótese Alternativa:	≠39,07
Intervalo de Confiança	99%
Limites	[18,283820297639; 59,8628463690277]

Fonte: Próprio autor

Avaliando a tabela de distribuição com o valor de t calculado, o valor de t (0,00159132205804418) está dentro dos limites calculado para o nível de confiança adotado (-9,925; 9,925), não sendo possível rejeitar a hipótese nula. Usando nível de confiança de 99%, não rejeitamos a hipótese nula.

Foram medidas as ZTA para o lado da chapa e para o lado do tubo, conforme mostrado na tabela 15, mostrando que as mesmas tiveram áreas semelhantes (estatisticamente) em relação à posição de soldagem, conforme estudo utilizado a ferramenta t de Student.

Tabela 15 - Dimensionamento de ZTA e áreas de solda para as juntas de filete.

	Horizontal - H	Sobre-cabeça - S
	Área de solda: 69,40 mm ²	Área de solda: 78,75 mm ²
	ZTA na chapa: 21,47 mm ²	ZTA na chapa: 19,93 mm ²
	ZTA no tubo: 12,86 mm ²	ZTA no tubo: 15,00 mm ²
	ZTA Total: 34,33 mm ²	ZTA Total: 34,93 mm ²

Fonte: Próprio autor

Fez-se necessário analisar as ZTA com uma ferramenta estatística para verificar se as mesmas diferem significativamente do valor de referência. Para isso utilizou-se a ferramenta estatística t de Student para avaliar esse quesito. O valor de referência foi a própria média da amostra.

As hipóteses para o caso estudado que foram:

- Área de ZTA não difere significativamente do valor de referência (hipótese nula)
- Área de ZTA difere significativamente do valor de referência (hipótese alternativa)

A tabela 16 e 17 apresentam os valores de t de Student calculados e os intervalos de confiança utilizados para análises a partir dos valores medidos para junta de filete na chapa e no tubo, respectivamente.

Tabela 16 – Avaliação de t de Student para ZTA da junta de filete na chapa.

Informação	Valor
t	0
Graus de Liberdade	5
p-valor	1
Média Amostral	20,69
Desvio padrão amostral	3,65211719417655
Tamanho da amostra	6
Hipótese Alternativa:	≠20,69
Intervalo de Confiança	99%
Limites	[14,6781933521026; 26,7018066478974]

Fonte: Próprio autor

Tabela 17 – Avaliação de t de Student para ZTA da junta de filete no tubo.

Informação	Valor
t	-0,00157776876519901
Graus de Liberdade	5
p-valor	0,998802137439861
Média Amostral	15,8083333333333
Desvio padrão amostral	2,58750394524659
Tamanho da amostra	6
Hipótese Alternativa:	≠15,81
Intervalo de Confiança	99%
Limites	[11,5490030346512; 20,0676636320155]

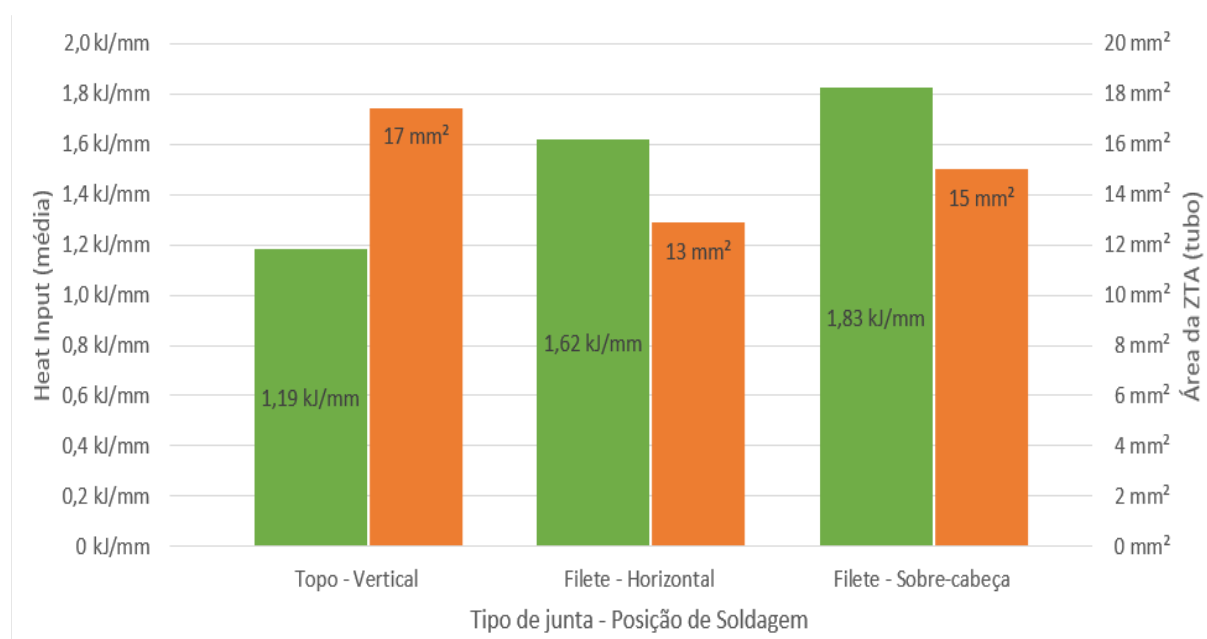
Fonte: Próprio autor

Avaliando as tabelas de distribuição com os valores de t calculados, os valores de t (0 – ZTA junta de filete na chapa; -0,00157776876519901 – ZTA junta de filete no tubo) estão dentro dos limites calculados para o nível de confiança adotado (-4,032; 4,032), não sendo possível rejeitar a hipótese nula. Usando nível de confiança de 99%, não foi rejeitada a hipótese nula.

Após avaliação das médias das áreas da ZTA das amostras, do ponto de vista da ZTA do tubo (para facilitar a comparação entre juntas as juntas de filete, que possuíam em sua composição uma parte em chapa e outra parte em tubo, utilizou-se a ZTA do tubo; para as juntas de topo, com duas partes de tubo, utilizou-se a média das áreas) encontrou-se os resultados da figura 36.

Os *Heat inputs* teóricos médios para as posições de soldagem estavam conforme figura 36. Pode-se ver que uma menor energia foi necessária, em ordem crescente, para a soldagem das juntas de topo – posição vertical, juntas de filete – posição horizontal e juntas de filete – posição sobre-cabeça.

Figura 36 – *Heat input* nominal e área da ZTA versus Tipo de junta – Posição de Soldagem.



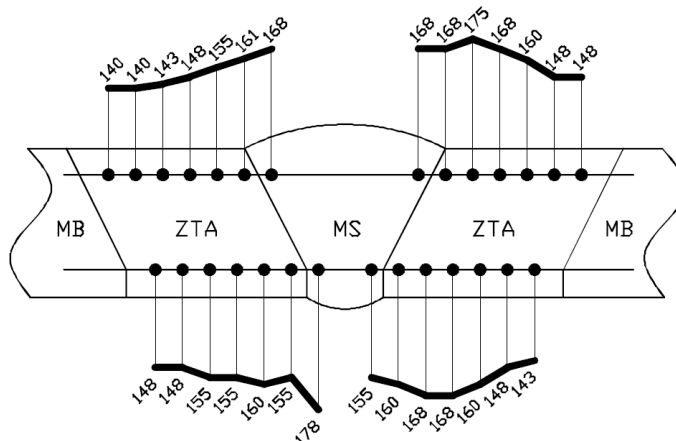
Fonte: Próprio autor

Confrontando as áreas das ZTA por tipo de junta – posição de soldagem e os seus respectivos resultados de *Heat input* esperava-se que com o aumento dos valores de *Heat inputs* se tivesse um aumento nas áreas da ZTA, mas o que foi identificado é que isso só aconteceu para as juntas de filete, pois para as juntas de topo, apesar de apresentarem *Heat inputs* médios inferiores aos valores médios para as juntas de filete, suas áreas de ZTA foram superiores. O que possivelmente pode explicar esse fato é o conceito de fluxo de calor bidimensional e tridimensional. Para a junta de topo (formada por dois tubos com 6 mm de espessura) a taxa de resfriamento pode ter sido menor do que a taxa de resfriamento para a junta de filete (formada por um tubo de 6 mm e uma chapa de 25,4 mm de espessura), mas essa análise aprofundada foge do escopo do trabalho. Analisando as ZTA das juntas de filete, observa-se que para um aumento de *Heat input* médio de aproximadamente de 13% (Horizontal → Sobre-cabeça) foi constatado um aumento de aproximado de 15% (Horizontal → Sobre-cabeça).

4.2.2 Microdureza

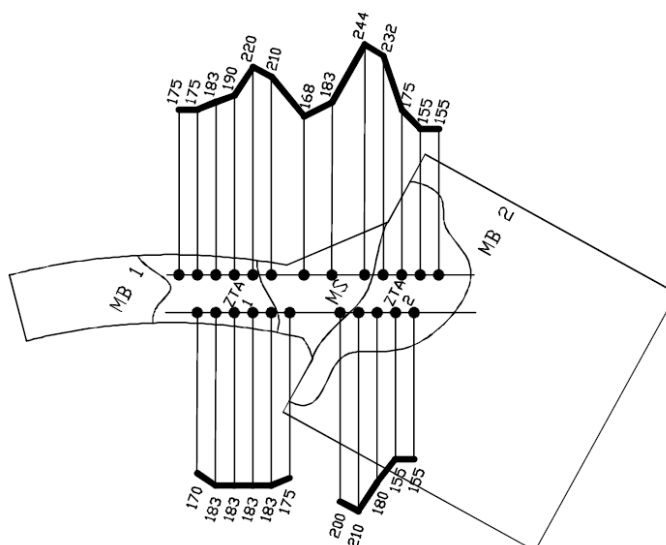
Os valores medidos na amostra da junta de topo (figura 37), junta de filete horizontal (figura 38) e junta de filete sobre-cabeça (figura 39) apresentaram microdureza medidas com valores abaixo do limite máximo (250 HV), atendendo assim o critério de aceitação proposto pela NACE MR0175/ISO 15156:2003/Circular 1: 2007 parte 2. As medições feitas no metal de base do tubo tiveram média de 157 HV e as medições feitas no metal de base da chapa tiveram média de 155 HV.

Figura 37 - Perfil de microdureza para junta de topo – 28 pontos medidos.



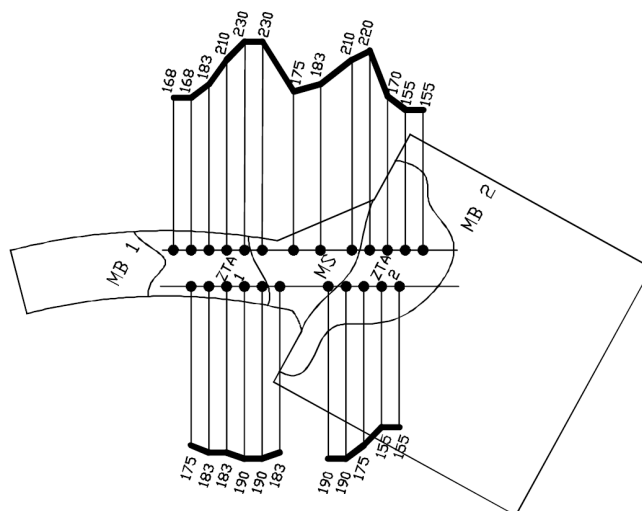
Fonte: Próprio autor

Figura 38 - Perfil de microdureza para junta de filete do horizontal – 24 pontos medidos.



Fonte: Próprio autor

Figura 39 - Perfil de microdureza para junta de filete do Sobre-cabeça – 24 pontos medidos.



Fonte: Próprio autor

Baseando-se nos valores encontrados é necessário fazer uma análise estatística para entender o comportamento da dureza na ZTA das amostras. Para isso utilizou-se a ferramenta estatística t de Student para avaliar a probabilidade dos valores de dureza ultrapassam ou não ao limite máximo.

Inicialmente definiu-se as hipóteses para o caso estudado:

- Dureza igual ou superior a 250 *HV* (hipótese nula)
- Dureza menor que 250 *HV* (hipótese alternativa)

A tabela 21 apresenta o valor de t de Student calculado e o intervalo de confiança da dureza a partir dos valores medidos para junta de topo e a tabela 22 para a junta de filete.

Tabela 18 – Avaliação de t de Student para junta de topo.

Informação	Valor
t	-46,63474635
Graus de Liberdade	27
p-valor	1,20119 e-27
Média Amostral	156,8214286
Desvio padrão amostral	10,57268869
Tamanho da amostra	28
Hipótese Alternativa:	<250
Intervalo de Confiança	95%
Limite Superior]-∞;160,2246847]

Fonte: Próprio autor

Tabela 19 – Avaliação de t de Student para junta de filete horizontal.

Informação	Valor
t	-13,3882759221039
Graus de Liberdade	23
p-valor	1,20667746457686 e-12
Média Amostral	185,083333333333
Desvio padrão amostral	23,7540233052931
Tamanho da amostra	24
Hipótese Alternativa:	<250
Intervalo de Confiança	95%
Limite Superior	$]-\infty; 193,393501671929]$

Fonte: Próprio autor

Tabela 20 – Avaliação de t de Student para junta de filete sobre-cabeça.

Informação	Valor
t	-14,4697054105282
Graus de Liberdade	23
p-valor	2,42559582844709 e-27
Média Amostral	184,416666666667
Desvio padrão amostral	22,2044191971791
Tamanho da amostra	24
Hipótese Alternativa:	<250
Intervalo de Confiança	95%
Limite Superior	$]-\infty; 192,184717536103]$

Fonte: Próprio autor

Avaliando a tabela de distribuição com o valor de t calculado, existe 1,20119 e-25 % de probabilidade de valores inferiores a -46,63474635 para junta de topo, existe 1,20667746457686 e-10 % de probabilidade de valores inferiores a -13,3882759221039, para junta de filete na posição horizontal e existe 2,42559582844709 e-25 % de probabilidade de valores inferiores a -14,4697054105282, para junta de filete na posição sobre-cabeça terem sido obtidos caso a dureza seja medida outra vez. Ou seja, existe 1,20119 e-25 % de probabilidade dos valores dureza serem superiores a 250 HV para junta de topo, existe 1,20667746457686 e-10 % de probabilidade dos valores dureza serem superiores a 250 HV para junta de filete na posição horizontal e existe 2,42559582844709 e-25 % de probabilidade dos valores dureza serem superiores a 250 HV para junta de filete

na posição sobre-cabeça. Usando nível de confiança de 95%, rejeitamos a hipótese nula.

Admitindo que as distribuições dos valores de dureza das ZTA foram do tipo Normal Padronizada para os valores medidos na face e na raiz, temos:

Tabela 21 – Dados estatísticos para os valores de dureza na face e na raiz dos 3 tipos de juntas.

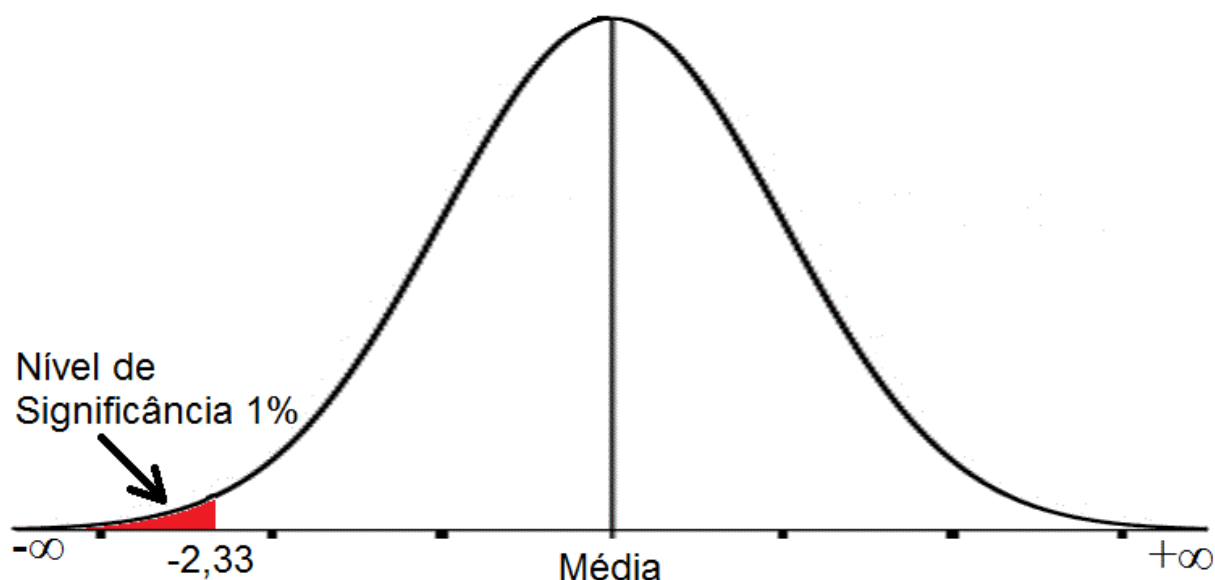
	Junta de Topo Vertical - Tipo 1		Junta de Filete Horizontal - Tipo 2		Junta de Filete Sobre-Cabeça - Tipo 3	
	Face	Raiz	Face	Raiz	Face	Raiz
n	12	12	9	9	9	9
Média (HV)	154,5	155,7	184,4	178	184,3	177,3
Desvio Padrão	11,82063	7,969639	26,36338	16,77051	28,45611	13,93736
Variância	139,7273	63,51515	695,0278	281,25	809,75	194,25

Fonte: Próprio autor

Na tabela acima foram desconsiderados os valores de dureza medidos no metal de solda.

Para um valor de significância de 1% (figura 40), temos no teste de hipóteses de médias populacionais:

Figura 40 – Distribuição Normal Padronizada para as durezas das ZTA.



Fonte: Próprio autor

Conforme visto na figura 40 a hipótese H_0 será rejeitada se o valor de Z (Estatística de Teste) estiver entre $]-\infty; -2,33[$ e aceito para $[-2,33; +\infty[$.

Tabela 22 – Teste de hipóteses entre ZTA da face e da raiz, para os 3 tipos de juntas.

Hipótese	Aceitar H ₀	Rejeitar H ₀	Z	Hipótese Válida
H ₀ : dureza da face da junta Tipo 1 ≥ dureza da raiz da junta Tipo 1 H ₁ : dureza da face da junta Tipo 1 < dureza da raiz da junta Tipo 1	$Z \geq -2,33$	$Z < -2,33$	-0,2916	H ₀ Aceita
H ₀ : dureza da face da junta Tipo 2 ≥ dureza da raiz da junta Tipo 2 H ₁ : dureza da face da junta Tipo 2 < dureza da raiz da junta Tipo 2	$Z \geq -2,33$	$Z < -2,33$	0,6145	H ₀ Aceita
H ₀ : dureza da face da junta Tipo 3 ≥ dureza da raiz da junta Tipo 3 H ₁ : dureza da face da junta Tipo 3 < dureza da raiz da junta Tipo 3	$Z \geq -2,33$	$Z < -2,33$	0,6628	H ₀ Aceita

Fonte: Próprio autor

Na tabela 22 o teste de hipóteses da diferença entre duas médias populacionais indica que nos tipos de juntas soldadas a média das durezas da face foi superior à média das durezas da raiz. Isso, provavelmente, se deve ao fato da ZTA do passe de raiz ser exposta a outros ciclos térmicos proveniente dos passes subsequentes e a ZTA do passe de acabamento não ser exposto a outro ciclo, ou seja, a ZTA do passe de raiz foi “revenida” pelos passes de enchimento e acabamento.

Tabela 23 – Teste de hipóteses entre as ZTA das faces das juntas de filete horizontal (tipo 2) e sobre-cabeça (tipo 3).

Hipótese	Aceitar H ₀	Rejeitar H ₀	Z	Hipótese Válida
H ₀ : dureza da face da junta Tipo 2 ≥ dureza da face da junta Tipo 3 H ₁ : dureza da face da junta Tipo 2 < dureza da face da junta Tipo 3	$Z \geq -2,33$	$Z < -2,33$	0,0077	H ₀ Aceita

Fonte: Próprio autor

Tabela 24 – Teste de hipóteses entre as ZTA das raízes das juntas de filete horizontal (tipo 2) e sobre-cabeça (tipo 3).

Hipótese	Aceitar H_0	Rejeitar H_0	Z	Hipótese Válida
H_0 : dureza da raiz da junta Tipo 2 \geq dureza da raiz da junta Tipo 3 H_1 : dureza da raiz da junta Tipo 2 < dureza da raiz da junta Tipo 3	$Z \geq -2,33$	$Z < -2,33$	0,0963	H_0 Aceita

Fonte: Próprio autor

Analisando as tabelas 23 e 24, observa-se que pelo teste de hipótese a dureza dos pontos medidos próxima da face e dos pontos medidos próximos da raiz para a junta de filete horizontal obtiveram médias maiores do que os respectivos para a junta de filete sobre-cabeça (hipóteses H_0 confirmada). Possivelmente isso se deve ao fato do *Heat input* verificado para a junta de filete horizontal (1,62 kJ/mm) ser menor do que o *Heat input* verificado para a junta de filete sobre-cabeça (1,83 kJ/mm). Assim o tempo de retenção acima da temperatura efetiva de recristalização T_x aumenta com o aumento do *Heat input*. Conseqüentemente, a perda de resistência/dureza na ZTA se torna mais evidente quanto o *Heat input* é aumentado.

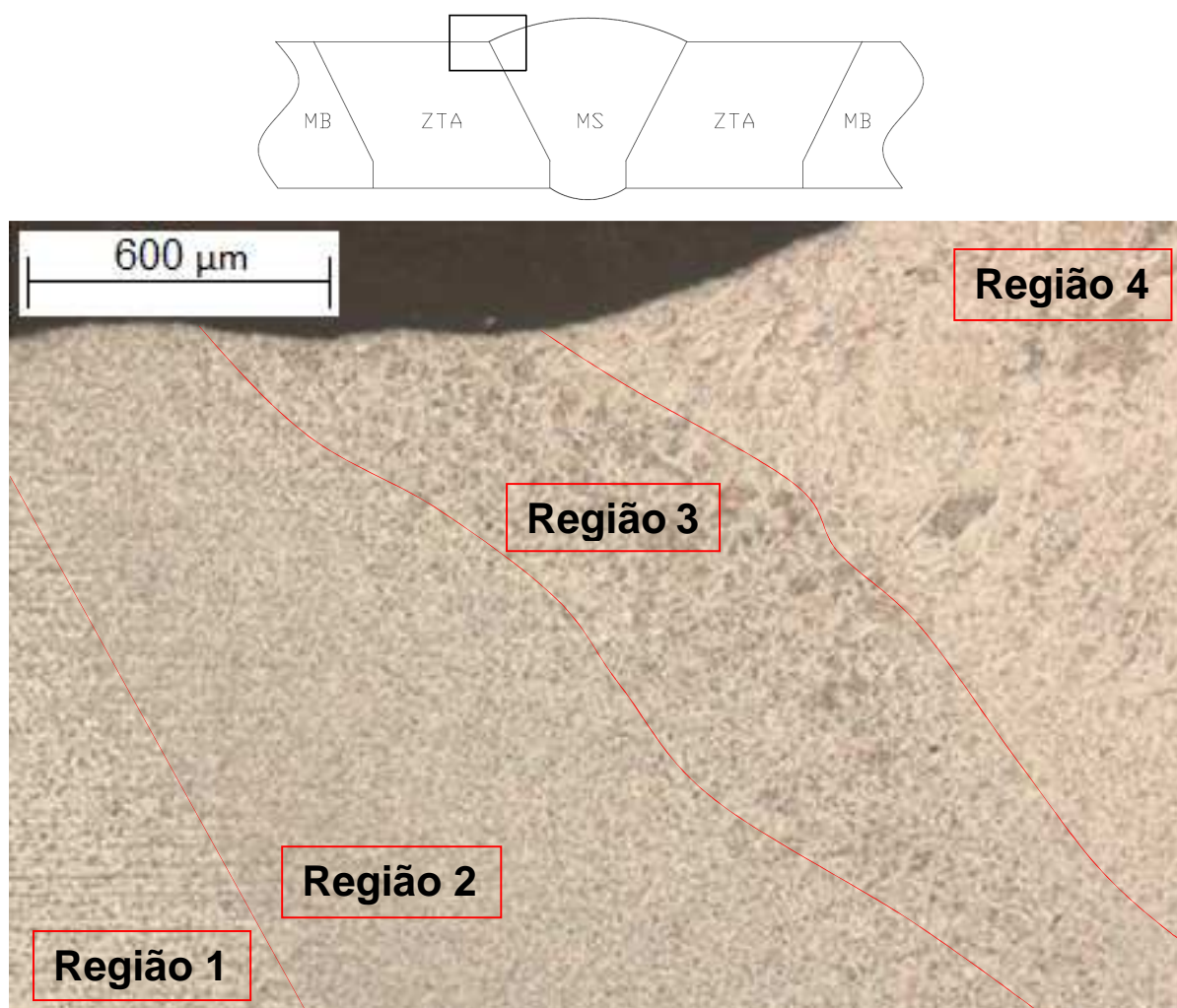
4.2.3 Micrografia

4.2.3.1 Junta de Topo – Posição Vertical

Os metais de base do tubo apresentaram microestruturas constituídas de perlita compacta em matriz ferrítica com granulação *ASTM* entre os padrões nº 5 e 6 sem anormalidades aparentes às ampliações utilizadas.

Nas ZTA, após ataque, não se evidenciaram anormalidades nas amostras soldadas. Foram registradas larguras de ZTA máximas de 3,0 mm próximo à da face da solda.

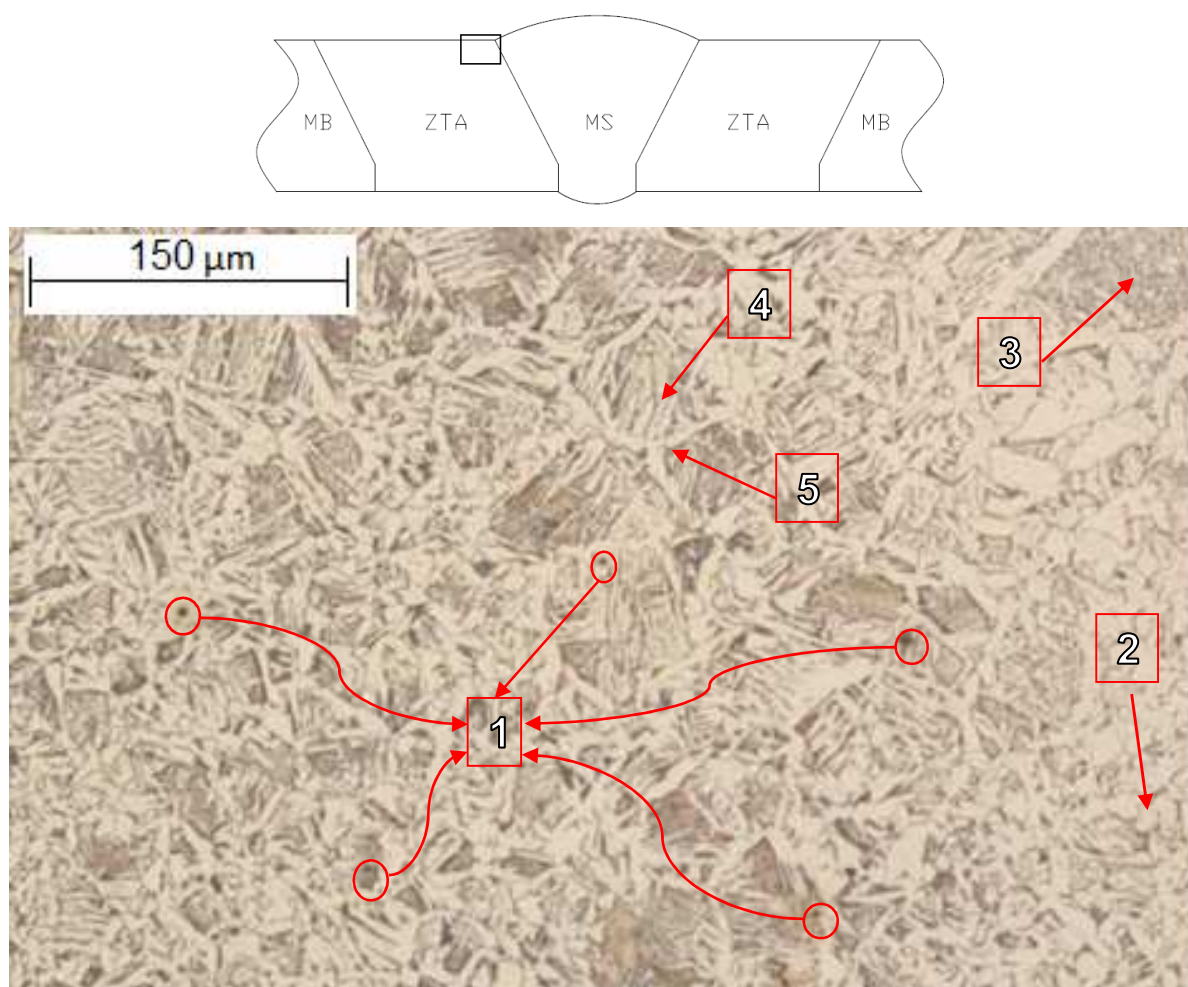
Figura 41 - ZTA esquerda da face da solda. Aumento de 25x.



Fonte: COSTA, 2013

Na figura 41 pode-se identificar quatro principais regiões a região de granulação fina (região 2) que está à centro-esquerda e a região de granulação mais grosseira (região 3) que está a centro-direita. A região de granulação mais grosseira tem sua largura reduzida à medida que margeia o metal de solda em direção à raiz da junta. Na região 1 a microestrutura tem a característica principal de cementita esferoidizada, provocando uma alteração na morfologia da perlita e início da região de grãos parcialmente refinados, e a região 4 é parte do metal de solda.

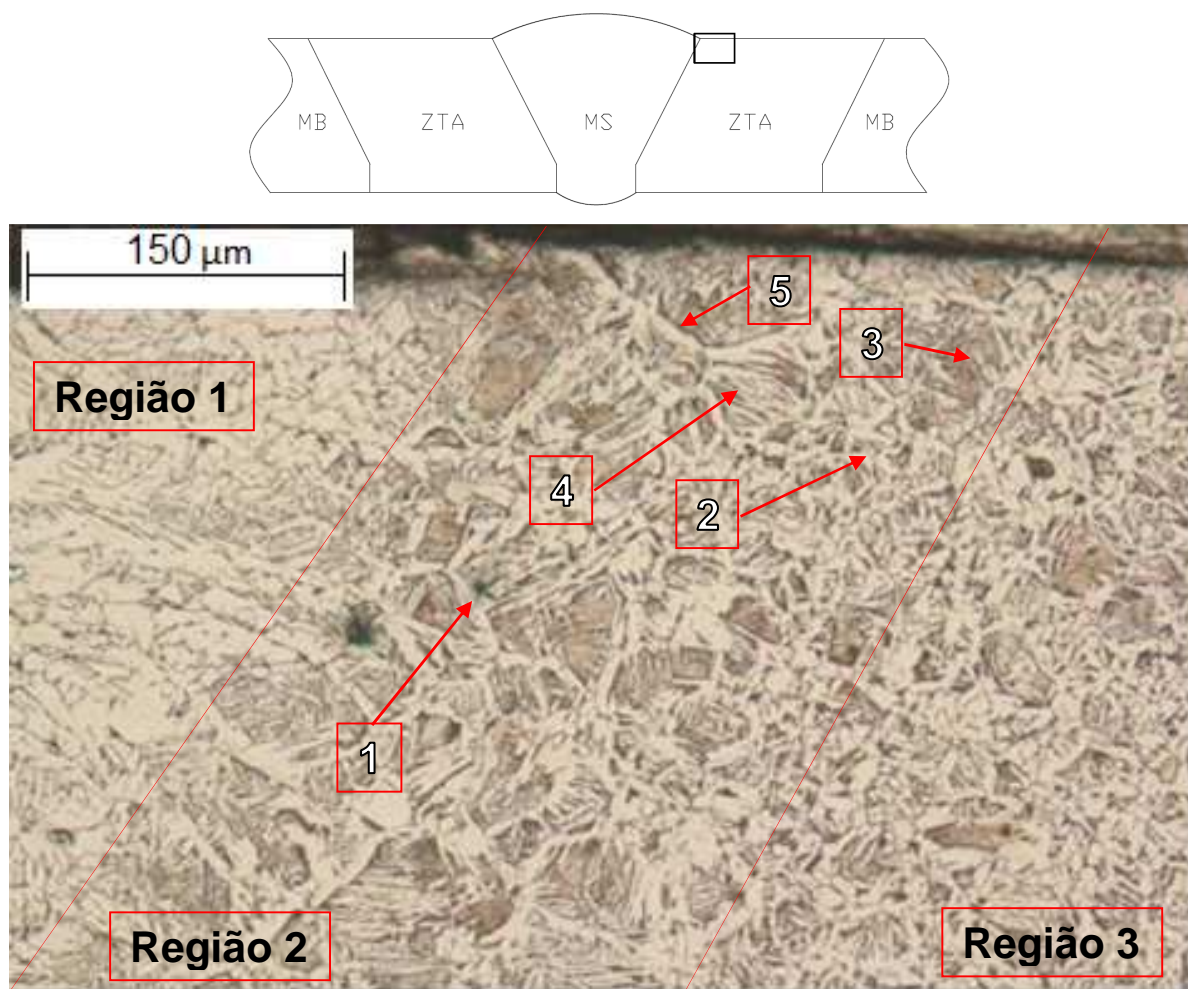
Figura 42 - ZTA esquerda da face da solda. Aumento de 100x.



Fonte: COSTA, 2013

Analisando a figura 42 identifica-se alguns carbonetos dispersos (1), ferrita poligonal (2), perlita fina (3) e ferrita com segunda fase alinhada - ferrita de Widmanstätten (4) no contorno dos grãos da austenita que foi formada no campo da austenita do diagrama Fe-C (5). A ferrita com segunda fase alinhada - ferrita de Widmanstätten pode ser observada como várias ripas paralelas com razão de aspecto maior que 4:1 verificados em CAD.

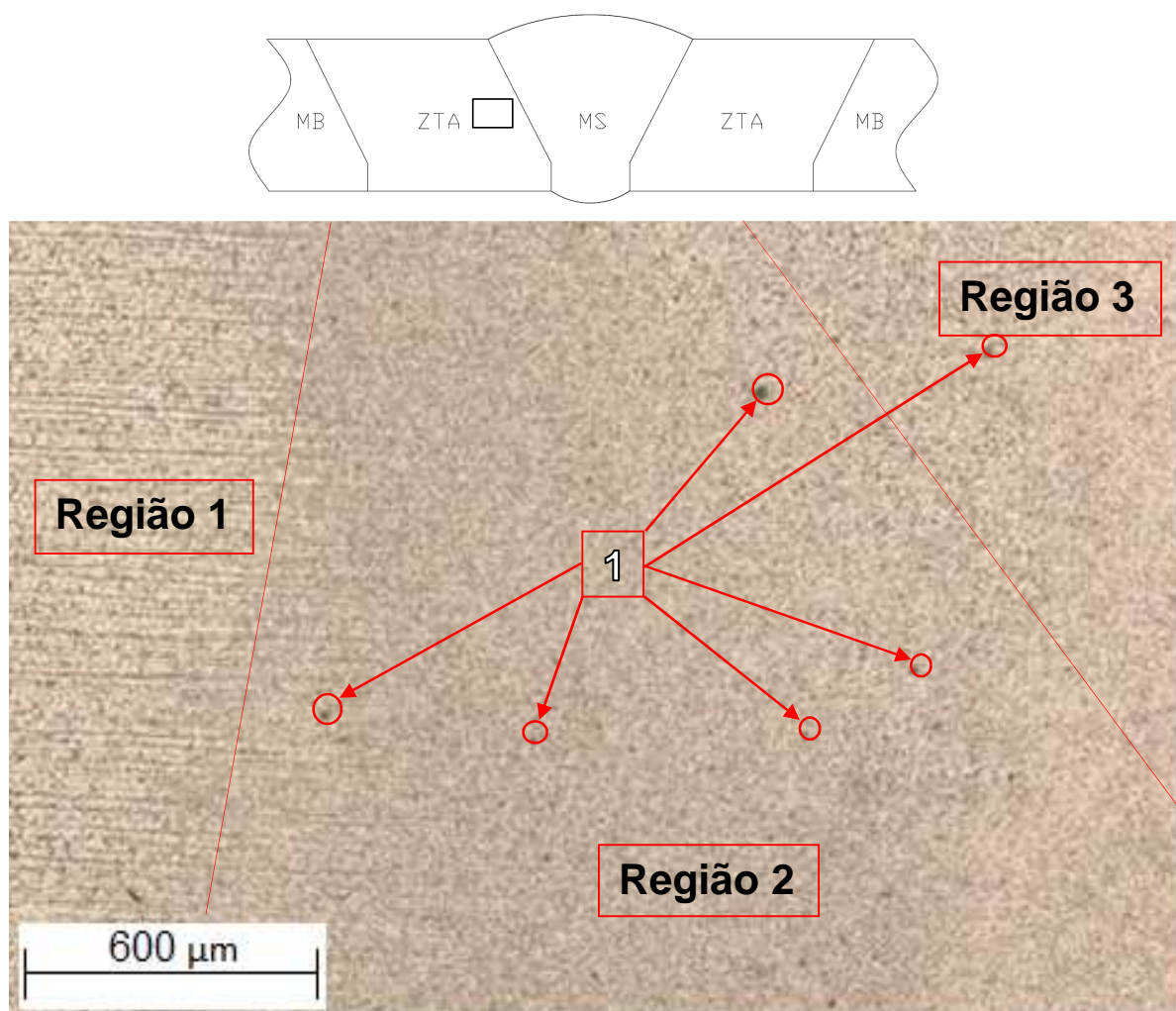
Figura 43 - ZTA direita face da solda. Aumento de 100x.



Fonte: COSTA, 2013

De igual modo observa-se na figura 43 as mesmas estruturas da figura 42, tais como: carbonetos dispersos (1), ferrita poligonal (2), perlita fina (3) e ferrita com segunda fase alinhada - ferrita de Widmanstätten (4) no contorno dos grãos da austenita que foi formada no campo da austenita do diagrama Fe-C (5). Pode se observar também a região do metal de solda (região 1) e a diferença entre o tamanho dos grãos da região 2 (grãos maiores) e região 3 (grãos menores).

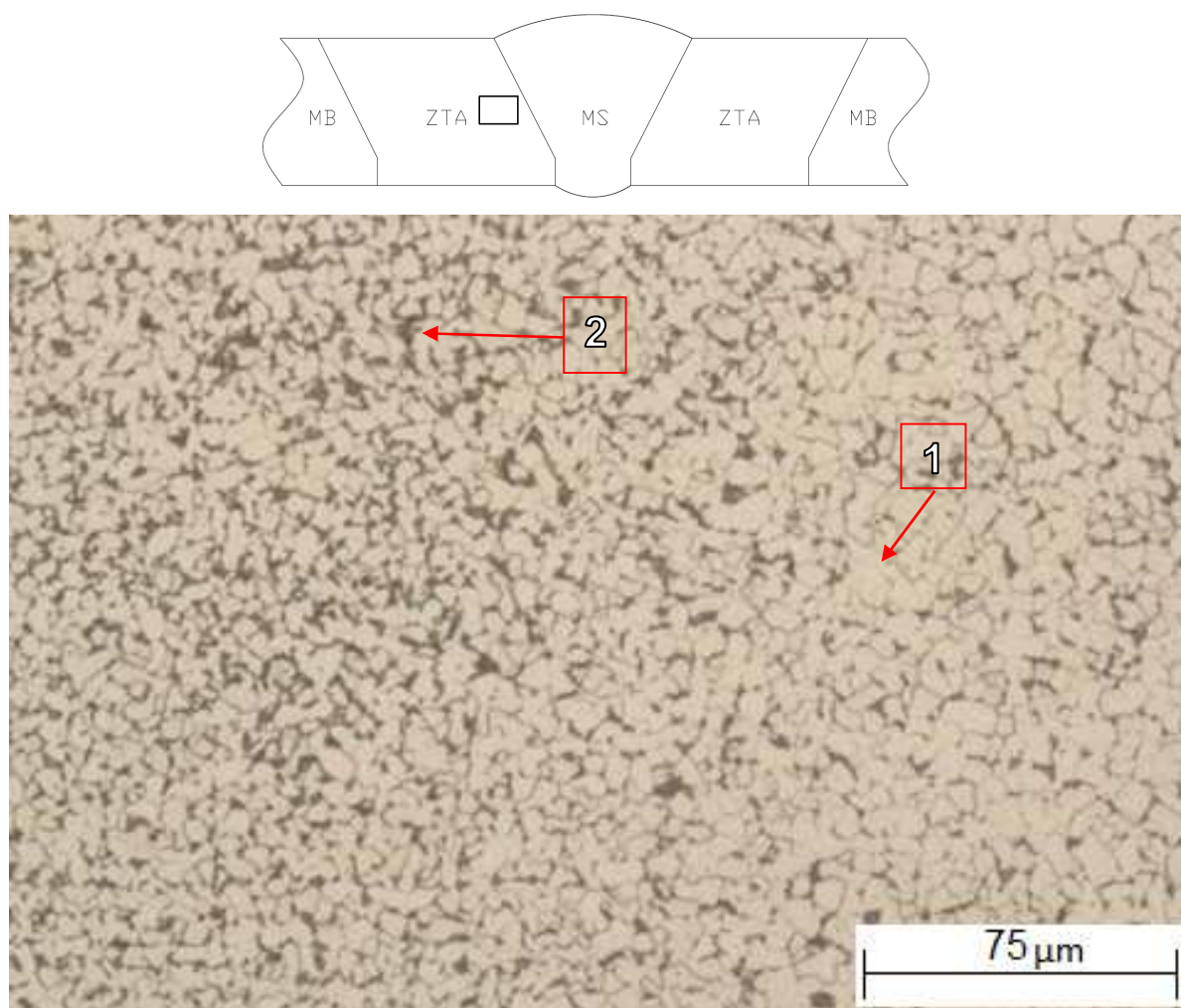
Figura 44 - ZTA esquerda região da meia espessura. Aumento: 25x.



Fonte: COSTA, 2013

Na figura 44 apresenta a micrografia na região de meia espessura, quase que não se identifica (em comparação com a figura 41) o início da região de grãos grosseiros pelo fato dela ter sofrido outros ciclos térmicos, refinando os seus grãos. A região 3 é o início da região de grãos grosseiros e não apresenta o mesmo tamanho de grão sinalizados na região 3 da figura 41. A região 2 e 3 apresentam carbonetos (1) dispersos. Na região 1 a microestrutura tem a característica principal de cementita esferoidizada, provocando uma alteração na morfologia da perlita e transição para região com grãos parcialmente refinados.

Figura 45 - ZTA esquerda, região da meia espessura. Aumento de 200x.



Fonte: COSTA, 2013

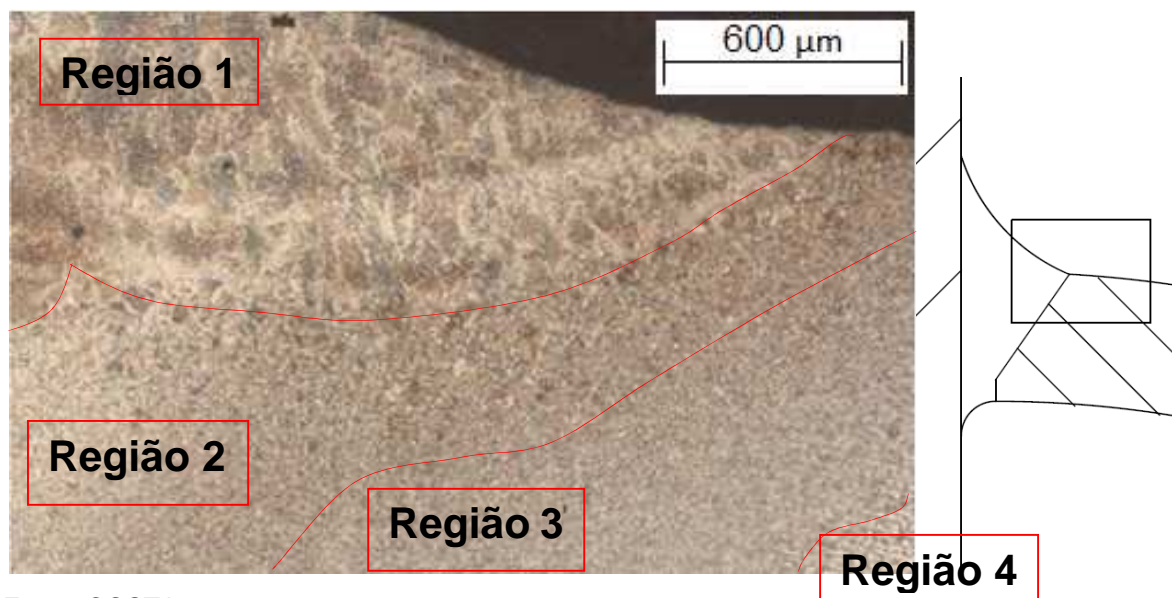
A figura 45 mostra a região de meia espessura da ZTA na zona de grãos finos composta por ferrita poligonal (parte clara - 1) e perlita fina (parte escura - 2).

4.2.3.2 Junta de Filete – Posição Horizontal

O metal de base do tubo e da chapa apresentaram microestruturas constituídas de perlita compacta em matriz ferrítica sem de anormalidades aparentes às ampliações utilizada. Metal de base na chapa apresentou tamanho de grão padrão *ASTM* n° 8, enquanto para o tubo o metal de base teve o mesmo tamanho de grão padrão *ASTM* que a amostra da junta de topo – posição vertical.

As juntas soldadas destas amostras apresentaram formas semelhantes, registrando as ZTA com largura máxima de 2,0 mm no lado do tubo e 1,0 no lado da chapa.

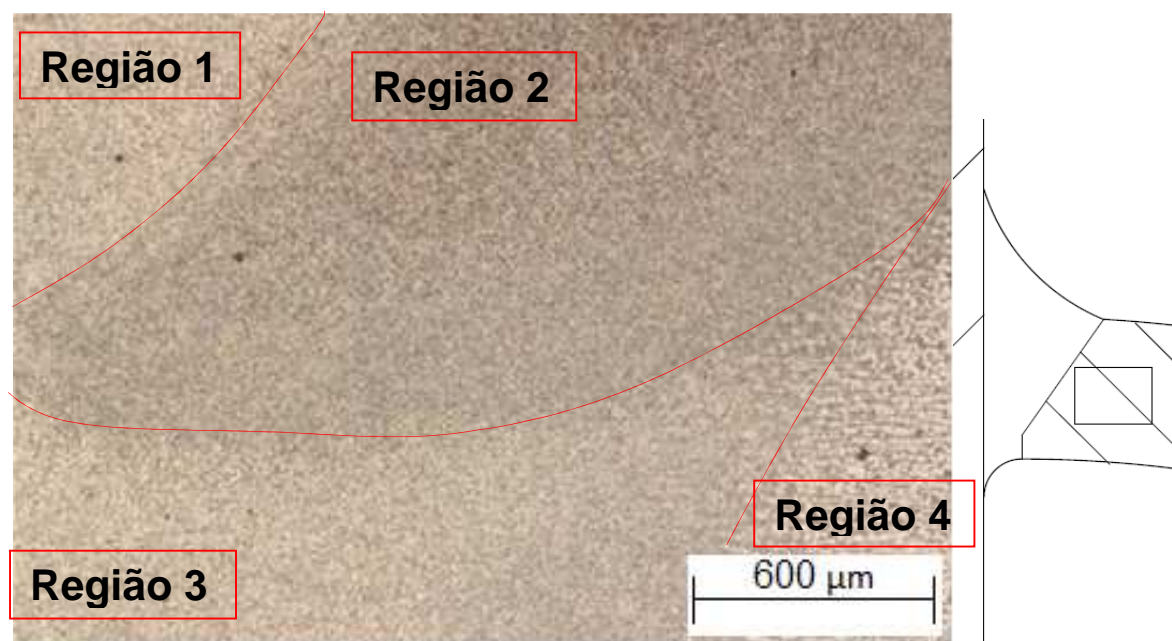
Figura 46 - ZTA do tubo na face da solda com aumento de 25x.



Fonte: COSTA, 2013

Na figura 46 pode-se identificar três principais regiões: Região 1 – Metal de Solda; Região 2 - região de granulação grosseira; Região 3 – região de granulação fina; Região 4 – região de grãos parcialmente refinados e cementita esferoidizada.

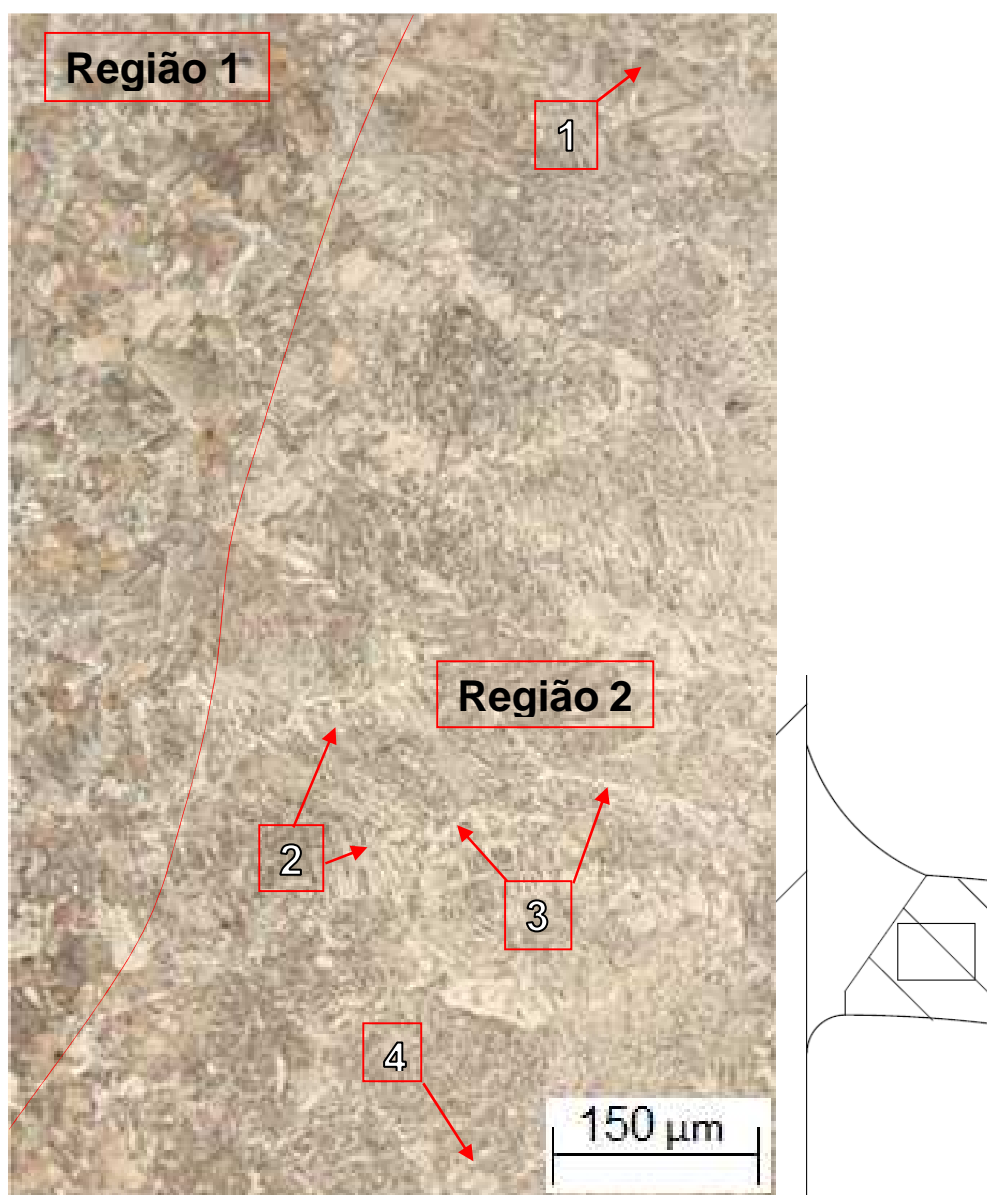
Figura 47 - ZTA do tubo da solda na região da meia espessura. Aumento de 25x.



Fonte: COSTA, 2013

A figura 47 ilustra da região de meia espessura na parte do tubo. É possível identificar 4 regiões principais nessa micrografia: Região 1 – início da região de grãos grosseiros; Região 2 – região de grãos finos que sofreu influência do ciclo térmico de um passe posterior; Região 3 – região de grãos finos que não sofreu influência de nenhum ciclo térmico; Região 4 – região de grãos parcialmente refinados e cementita esferoidizada.

Figura 48 - ZTA do tubo da solda na região da meia espessura. Aumento de 100x.

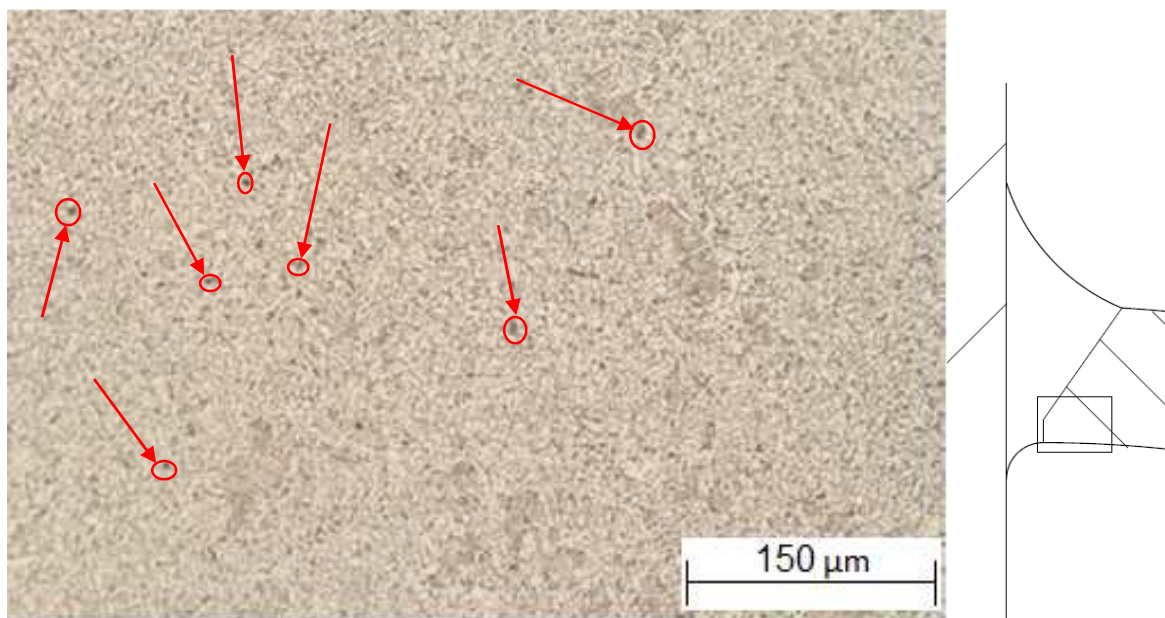


Fonte: COSTA, 2013

Na figura 48 identifica-se duas principais regiões: Região 1 – metal de solda; Região 2 – ZTA grãos grosseiros. Na região 2 pode-se identificar perlita (1), ferrita

com segunda fase alinhada - ferrita de Widmanstätten (2) no contorno dos grãos da austenita que foi formada no campo da austenita do diagrama Fe-C (3), ferrita poligonal (4).

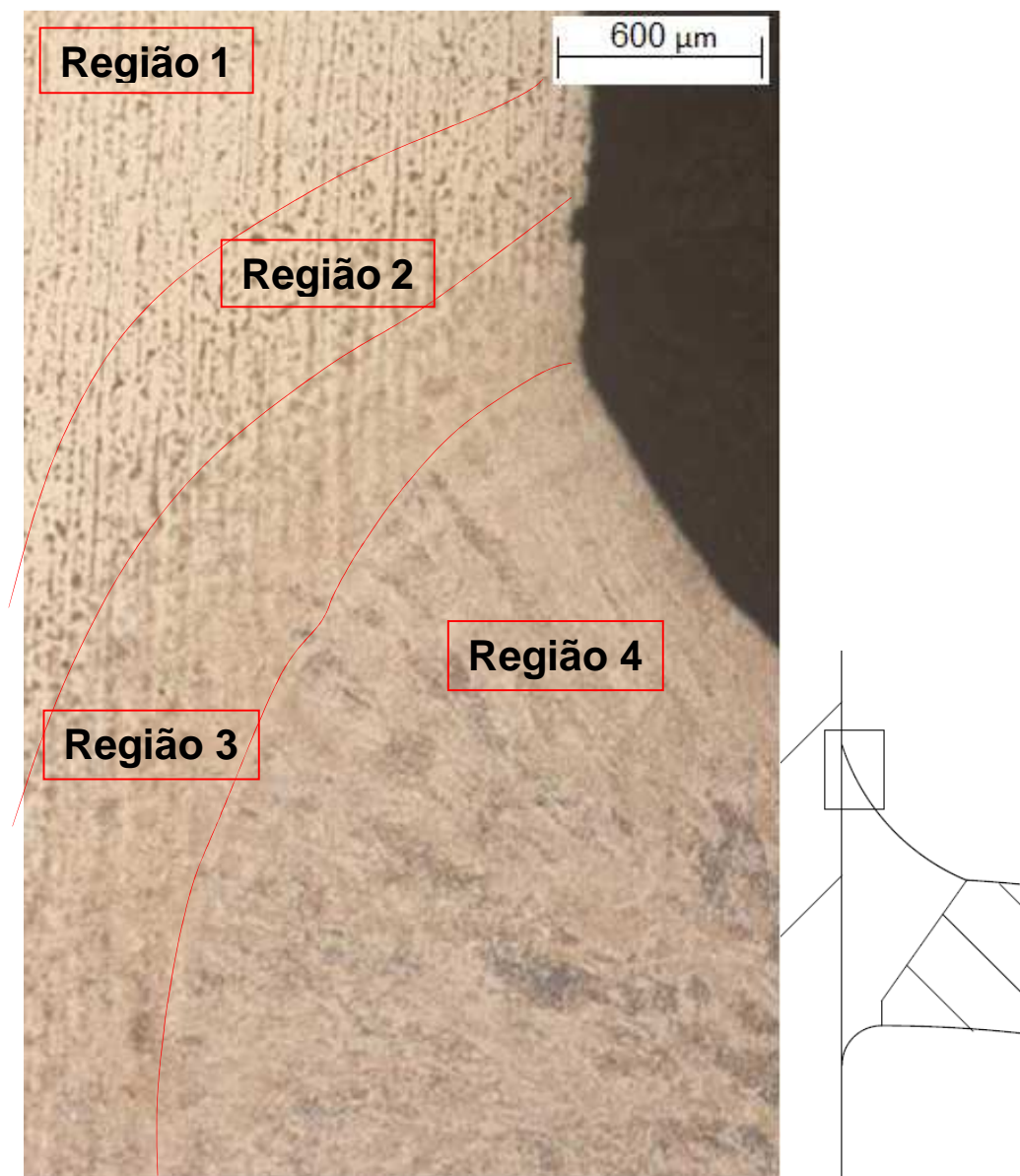
Figura 49 - ZTA do tubo da solda na região da raiz. Aumento de 100x.



Fonte: COSTA, 2013

Figura 49 mostra a ZTA na região de grãos finos com alguns carbonetos dispersos (setas e círculos) e tamanho de grão padrão *ASTM* n° 8.

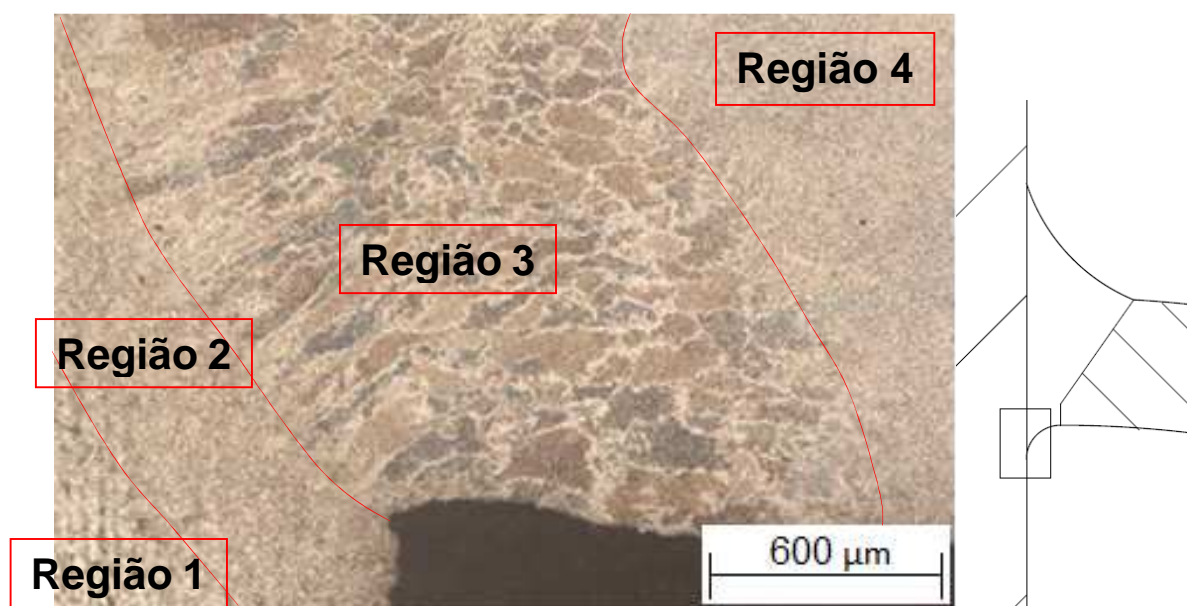
Figura 50 - ZTA da chapa e metal de solda na região de reforço da solda. Aumento: 25x.



Fonte: COSTA, 2013

Figura 50 mostra as regiões identificadas na micrografia: Região 1 – metal de base; Região 2 – ZTA da chapa com grãos parcialmente refinados e cementita esferoidizada; Região 3 – ZTA da chapa com grãos refinados e grosseiros; Região 4 – metal de solda.

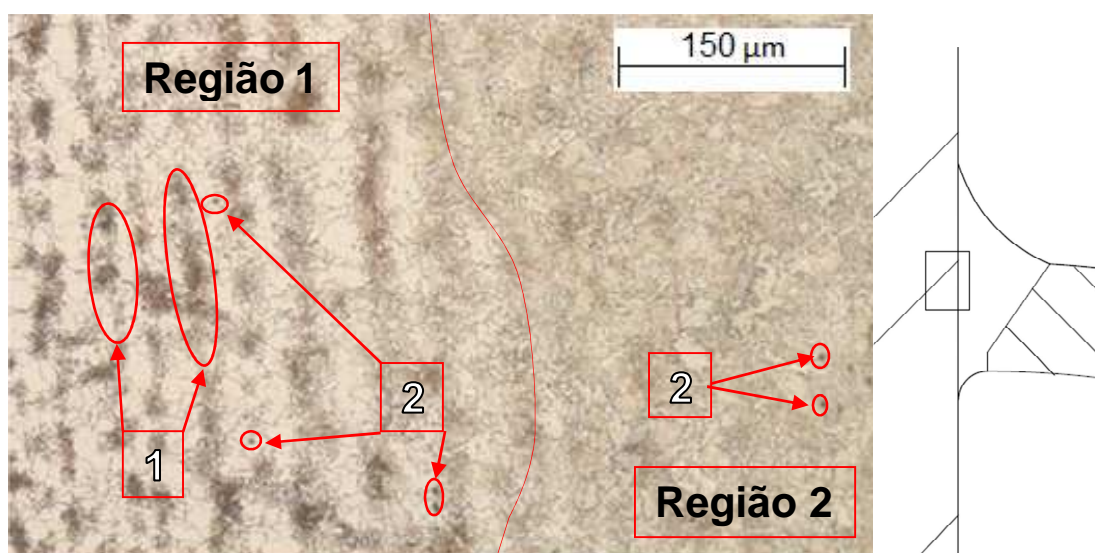
Figura 51 - ZTA da chapa, do tubo e metal de solda na região da raiz. Aumento: 25x.



Fonte: COSTA, 2013

Figura 51 mostra as 4 regiões identificadas na micrografia: Região 1 – grãos parcialmente refinados e cementita esferoidizada; Região 2 – ZTA da chapa com grãos grosseiros e refinados; Região 3 – metal de solda; Região 4 – ZTA do tubo com grãos grosseiros e refinados.

Figura 52 - ZTA da solda na chapa, à meia parte da solda. Aumento: 100x.



Fonte: COSTA, 2013

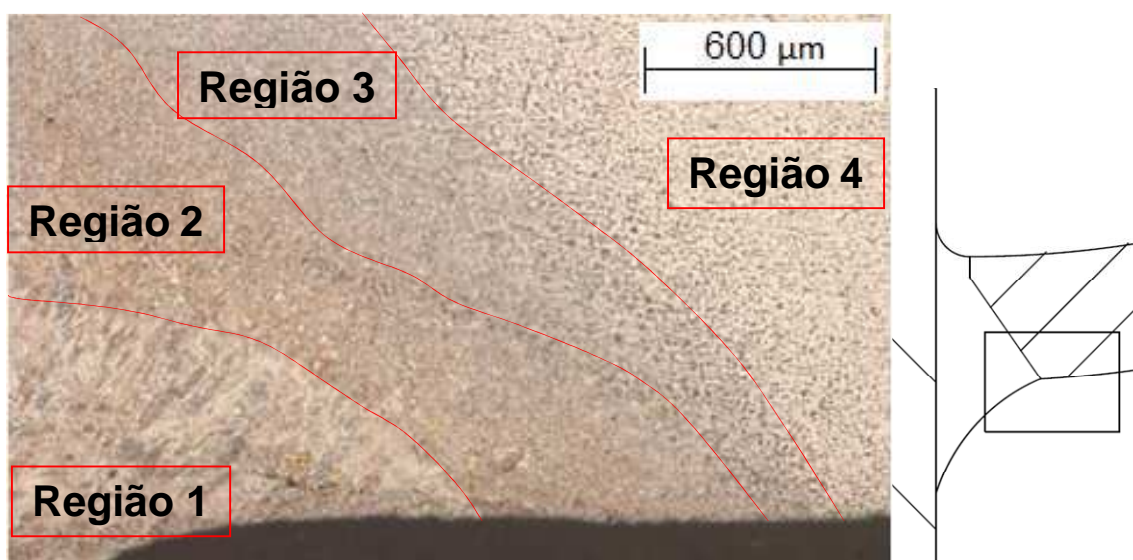
Na figura 52 pode-se identificar duas regiões: Região 1 – ZTA da chapa na região parcialmente refinada com perlita parcialmente esferoidizada (1) e carbonetos (2);

Região 2 – ZTA da chapa na região de grãos refinados e indicações de carbonetos (2).

4.2.3.3 Junta de Filete – Posição Sobre-cabeça

As amostras atacadas de junta de filete na posição sobre-cabeça, possuíam características semelhantes às amostras atacadas de junta de filete na posição horizontal, com mesmas características microestruturais, larguras semelhantes de ZTA e mesmo tamanho de grão para os metais de base.

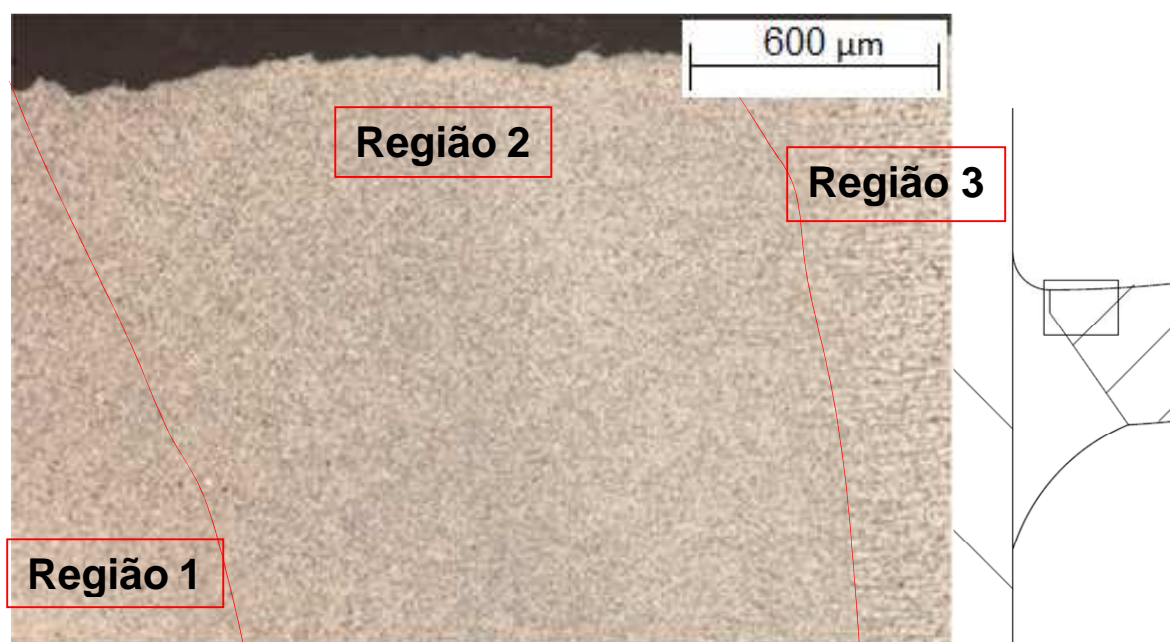
Figura 53 - ZTA do tubo na face da solda. Aumento de 25x.



Fonte: COSTA, 2013

A figura 53 apresenta 4 regiões: Região 1 – metal de solda; Região 2 – ZTA do tubo afetada por ciclo térmico de passe posterior; Região 3 – ZTA do tubo não afetada por ciclo térmico; Região 4 – grãos parcialmente refinados e cementita esferoidizada transitando para o metal de base.

Figura 54 - ZTA do tubo na raiz da solda. Aumento de 25x.



Fonte: COSTA, 2013

A figura 55 mostra 3 regiões: Região 1 – início da ZTA do tubo com grãos grosseiros; Região 2 – ZTA do tubo com refino de grãos; Região 3 – grãos parcialmente refinados e cementita esferoidizada em transição para o metal de base do tubo. Comparando as regiões 2 e 3 da figura 53, pode-se verificar que a região de grãos grosseiros é muito menor para a figura 54, por causa dos ciclos térmicos sofridos por essa região no decorrer da soldagem.

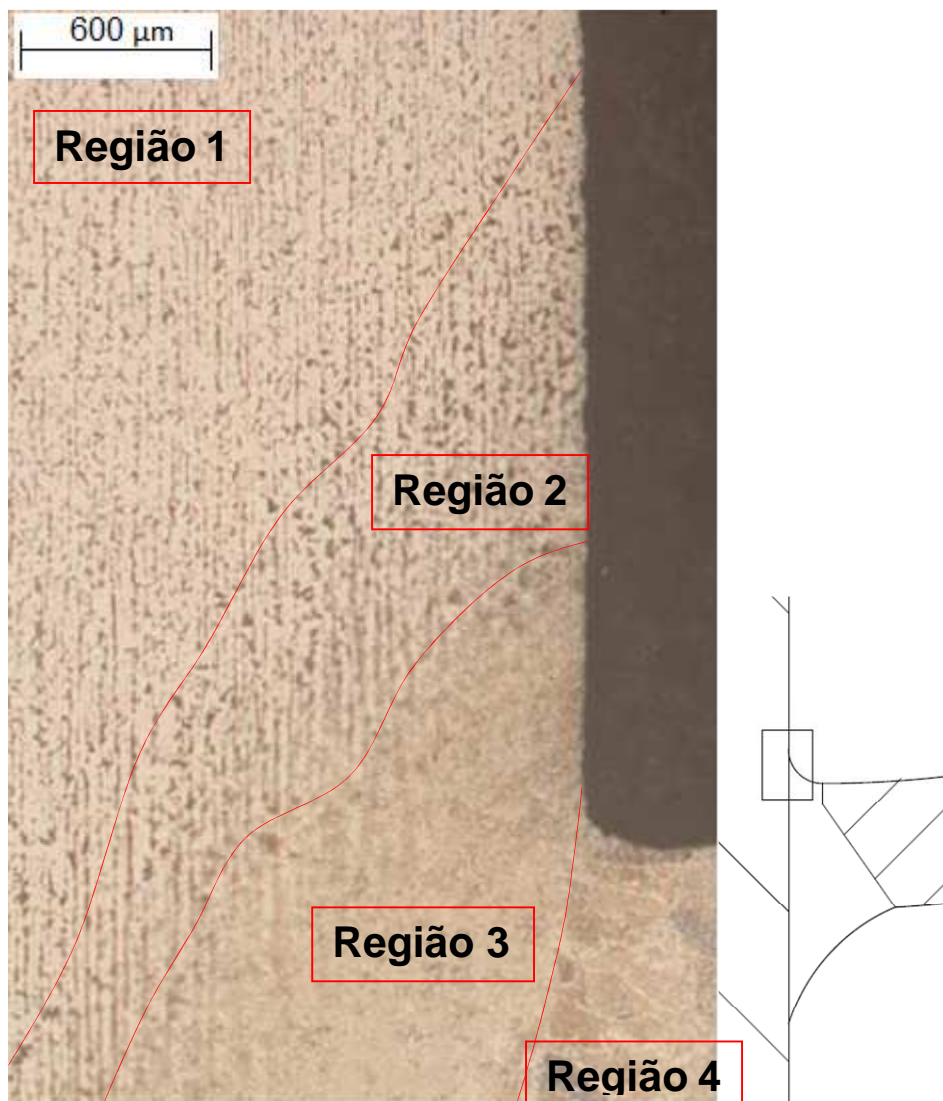
Figura 55 - ZTA da chapa, face da solda. Faixa da ZTA relativamente estreita sem anormalidades. Aumento: 25x



Fonte: COSTA, 2013

Figura 55 mostra as regiões identificadas na micrografia: Região 1 – metal de base; Região 2 – ZTA da chapa na região parcialmente refinada; Região 3 – ZTA da chapa com a região de grãos grosseiros e refinados; Região 4 – metal de solda.

Figura 56 - ZTA da chapa, raiz da solda. Faixa da ZTA relativamente estreita com granulação fina sem anormalidades.



Fonte: COSTA, 2013

As regiões sinalizadas da figura 56 são: Região 1 – metal de base; Região 2 – transição do metal de base para ZTA, com regiões de cementita esferoidizada e região com grãos parcialmente refinados; Região 3 – grãos refinados e grosseiros; Região 4 – metal de solda.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONCLUSÃO

Apesar do *Heat input* médio para soldagem da junta de topo ser inferior ao *Heat input* médio para a soldagem das juntas de filete, sua área de ZTA é maior, provavelmente por causa do tipo condução de calor para os dois tipos de juntas do experimento. Segundo Miannay *et al* (2000), com o aumento do tamanho de grão se reduz a resistência à fadiga. Como a junta de topo possui maior ZTA, possivelmente uma maior região com grãos grosseiros, a resistência à fadiga térmica é provavelmente reduzida para essa configuração. Somado ao fato da tensão longitudinal devido à pressão do vapor na operação (tensão longitudinal atua na junta circunferencial - junta de topo é junta circunferencial para a serpentina tipo *Half-Pipe Jacket*) ser maior que a tensão circunferencial devido à pressão do vapor na operação (tensão circunferencial atua na junta longitudinal - junta de filete é junta longitudinal para a serpentina tipo *Half-Pipe Jacket*) espera-se que a possibilidade de falha nessa junta seja maior, e é o que é relatado por alguns usuários de equipamentos com esse tipo de serpentina.

Entre as juntas de filete o aumento de *Heat input* médio provocou um aumento quase que proporcional na área da ZTA da junta.

A combinação de ciclos térmicos, fez com o que a média de dureza da raiz fosse menor que a média de dureza da face em todos casos. Com o aumento do *Heat input* médio usado na soldagem das juntas de filete ocorreu uma diminuição na média de dureza das juntas de filetes. Nenhuma das três condições de soldagem analisados foi capaz de promover alterações microestruturais que aumentassem os valores de dureza acima do máximo estabelecido.

As micrografias não apresentaram microestruturas com anormalidade ou não previstas para uma ZTA de um aço hipoeutetoide soldado. Se pode ver que os ciclos térmicos impostos às ZTA prévias reduziram a região de grãos grosseiros.

5.2 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

A fim de complementar este trabalho e aumentar o conhecimento sobre soldagem em *Half-Pipe Jackets*, são sugeridas as seguintes propostas de trabalho futuros:

1. Investigação sobre a soldagem de *Half-Pipe Jackets* utilizando outros processos, principalmente *SMAW (Shielded Metal Arc Welding)* com eletrodo de \varnothing 2,5 mm.
2. Investigação sobre a utilização de ligas de níquel para soldagem de *Half-Pipe Jackets*.
3. Investigação sobre a utilização de outro arranjo construtivo de *Half-Pipe Jackets*, com menos volume de solda e diferentes configurações de junta.
4. Comparação entre a soldagem de ligas de Níquel em juntas com diversas configurações, para entendimento da relação do surgimento de trincas nas mesmas, caso exista relação.
5. Verificação da relação entre a fabricação de *Half-pipe Jackets* com tubo ou com chapas.
6. Verificação da relação entre a posição de soldagem na fabricação de *Half-pipe Jackets*, com o equipamento na horizontal ou na vertical.

REFERÊNCIAS

AIDUN, D. K.; SAVAGE, W. F. **Weld. J.**, **63**: 1984; **64**: 97s, 1985.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **E140 - Standard Hardness Conversion Tables for Metals Relationship Among Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Superficial Hardness, Knoop Hardness, Scleroscope Hardness, and Leeb Hardness**. Ed. 2012. West Conshohocken, 2012.

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **B31.3 – Process Piping**. Ed. 2010. New York, 2010.

_____. **B36.10M – Welded and Seamless Wrought Steel Pipe**. Ed. 2004. New York, 2004.

_____. **Section II Materials Part A – Ferrous Material Specifications (Beginning to SA-450)**. Ed. 2010 Ad. 2011. New York, 2011.

_____. **Section II Materials Part A – Ferrous Material Specifications (SA-450 to End)**. Ed. 2010 Ad. 2011. New York, 2011.

_____. **Section II Materials Part C – Specifications for Welding Rods, Electrodes, and Filler Metals**. Ed. 2010 Ad. 2011. New York, 2011.

_____. **Section II Materials Part D – Properties (Metric)**. Ed. 2010 Ad. 2011. New York, 2011.

_____. **Section VIII – Rules for Construction of Pressure vessel - Division 1**. Ed. 2010 Ad. 2011. New York, 2011.

_____. **Section IX – Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators**. Ed. 2010 Ad. 2011. New York, 2011.

BÖHLER WELDING. UTP A 068 HH - NiCrFe wires and rods resistant to corrosion and high temperatures. Disponível em: <

<http://www.bohlersoldabrasil.com.br/pesquisa/eng/pdf/separatas/UTP%20A%20068%20HH.pdf>> Acesso em: 27 mai 2014.

CHANDEL, R. S. Prediction of Weld Metal Dilution from SAW Parameters. **Welding Review**, Vol. 6 (1), pp. 45–46. 1987.

COSTA, Elias Cândido da. **Relatório Técnico nº MA 015/2013 - Análise Metalográfica e Ensaio de Dureza em 04 Juntas Soldadas**. 12 p. Camaçari: 2013.

DOLBY, R.E. Guidelines for the classification of ferritic steel weld metal microstructural constituents using the light microscope. **Welding in the World**, London, Vol. 24, n.7/8, p. 144-148, 1986.

DUPONT, J. N.; MARDER, A. R. Thermal Efficiency of Arc Welding Processes. **Welding Journal**, Vol. 74 (12), pp. 406–416. 1995.

_____. Dilution in Single Pass Arc Welds. **Metallurgical and Material Transactions B**, Vol. 27B, pp. 481–489. 1996.

EVANS, G. M., **Weld. J.**, 59: 67s, 1980.

FORSBERG, S. G. Resistance Electroslag (RES) Surfacing. **Welding Journal**, Vol. 64 (8), pp. 41–48. 1985.

FUERSCHBACH, P. W.; KNOROVSKY, G. A. A Study of Melting Efficiency in Plasma Arc and Gas Tungsten Arc Welding. **Welding Journal**, Vol. 70 (11), pp. 287– 297. 1991.

GANDY, D. W. *et al.* A better way to control GTA weld dilution. **Welding Design & Fabrication**, pp. 40–43. 1992.

IIW Doc. N° IX-1533-88 / IXJ-123-87. **Guide to the light microscope examination of ferritic steel weld metals**. Revision 2, 1988.

KOU, Sindo, **Welding Metallurgy**. 2nd Edition. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2002.

KOU, Sindo; SUN, D. K.; LE, Y. **Metall. Trans.**, 14A: 643, 1983.

METALS HANDBOOK, 8th ed., Vol. 7, American Society for Metals, Metals Park, OH, 1972, p. 135, 268 e 285.

MILLER Electric Mfg. Co. **Manual do Usuário CST 280 e CST 280 VRD**. São Paulo, SP, 2012, 43 p. Disponível em: < http://www.millerwelds.com/om/o217655s_bpg.pdf> Acesso em: 19 mai 2015.

MODENESI, Paulo J. **Soldabilidade dos Aços Transformáveis**. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

NATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS. **MR0175/ISO 15156-2 - Petroleum and natural gas industries - Materials for use in H₂S - containing environments in oil and gas production - Part 2: Cracking-resistant carbon and low alloy steels, and the use of cast irons**. Ed. 2003. Technical Circular 1. Houston, 2007.

_____. **MR0175/ISO 15156-3 - Petroleum and natural gas industries - Materials for use in H₂S - containing environments in oil and gas production - Part 3: Cracking-resistant CRAs (corrosion-resistant alloys) and other alloys**. Ed. 2003. Technical Circular 1. Houston, 2007.

OKUMURA, T.; TANIGUCHI, C. **Engenharia de Soldagem e Aplicações**. São Paulo. Editora LTC, 1982.

PPGEP/UFRGS. **Teste de Hipóteses**. Disponível em: < <http://slideplayer.com.br/slide/294374/>> Acesso em: 30 abr. 2015.

PRESSURE VESSEL ENGINEERING. Ontario, Canada, 2015. Disponível em: < <http://www.pveng.com/ASME/ASMEComment/ExternalPressure/ExternalPressure.php>> Acesso em: 21 abr. 2015.

PUCRS. **Teste de hipóteses com duas amostras**. Disponível em: < http://www.pucrs.br/famat/rossana/adm2/aula5_TESTE%20DE%20HIPOTESSES_CO M_DUAS_AMOSTRAS.rtf> Acesso em: 30 abr. 2015.

SILVA, Cleiton Carvalho. *et al.* Welding of the ASTM A106 Gr. B steel pipes for high-temperature service – part 2 – microstructure and hardness. **Welding International**, Fortaleza, Vol. 24, n.3, p. 231–240, 2010.

TOTTEN, G.; HOWES, M. **Steel Heat Treatment Handbook**, Marcel Dekker Inc., 1ª edição, 1997.

WIKIPÉDIA. **t de Student**. Disponível em: <
http://pt.wikipedia.org/wiki/Teste_t_de_Student> Acesso em: 21 abr. 2015.

WHITE, S. S. *et al.*, **Weld. J.**, 39: 10s, 1960.

ANEXO A – EPS AC-01, AC-02 e AC-03

ESPECIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM (EPS)

(WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS))

EPS Nº - WPS No.: **AC-01** Data - Date: **26/11/2013** NORMA DE PROJETO - Code: **ASME Sec. VIII Div.1 Ed.10 Ad.11**
 RQPS Nº - WPQR No.: **AC-01** Processo(s) de Soldagem - Welding Process(es): **TIG (GTAW)**
 Tipos (Manual, Automático, Semi-Automático): **Manual (Manual)**
 Types (Manual, Automatic, Semiautomatic):

JUNTAS (QW-402) – JOINTS (QW-402)	DETALHES – Details	
<p>Tipo de chanfro - Joint Design:</p> <p>Cobre-juntas – Backing: <input type="checkbox"/> Sim – yes <input checked="" type="checkbox"/> Não – No</p> <p>Material do cobre-juntas - (Backing material) <input type="checkbox"/> metal - metal <input type="checkbox"/> metal não fundível - nonfusing metal <input type="checkbox"/> não metálico - nonmetallic <input type="checkbox"/> outro - other</p> <p>Retentor – Retainer <input type="checkbox"/> Sim (Yes) <input checked="" type="checkbox"/> Não (No)</p>		
METAIS DE BASE (QW-403) - BASE METALS (QW-403)		
<p>P-Nº - P.No.: 1 Grupo Nº - Group No.: Todas (Any)</p> <p>com P-Nº - to P.No.: 1 Grupo Nº - Group No.: Todas (Any)</p> <p>OU - or</p> <p>Especificação e grau - NA com - with Especificação e grau - to specification type and grade: NA</p> <p>OU - or</p> <p>Análise química e propriedades mecânicas: NA para Análise química e propriedades mecânicas: NA <small>chemical analysis and mechanical properties:</small> to <small>chemical analysis and mechanical properties:</small></p> <p>Faixa de espessura - Thickness range: Chanfro - Groove: 1,5 a 12,0 mm Ângulo - Fillet: Todas (All) (Sem teste de impacto – Without impact test). Chanfro - Groove: NA Ângulo - Fillet: NA (Com teste de impacto – With impact test).</p> <p>Nenhum passe maior que 13,0 mm (No pass greater than 13,0 mm): -</p> <p>Outros - Other: NA</p>		
METAIS DE ADIÇÃO (QW-404) - FILLER METALS (QW-404)		
Nº Especificação (SFA) - Specification No.(SFA)	5.18	-
Nº AWS (Classificação) - AWS No. (Classification)	ER 70S-3	-
F-Nº - F.No.:	6	-
A-Nº - A.No.:	1	-
Bitola - Size of filler metals:	2,4 mm; 3,25 mm	-
Forma do Metal de Adição – Filler Metal Product Form	Sólido (Solid)	-
Metal de Solda Adicional – Supplemental Filler Metal	NA	-
Metal de solda - Weld metal		
Faixa de espessura - Thickness range		
Chanfro - Groove	≤ 12,0 mm	-
Ângulo – Fillet	Todas (All)	-
Eletrodo-fluxo (Classificação) - Electrode-Flux(Class)	NA	-
Tipo do Fluxo – Flux Type	NA	-
Inserto consumível – Consumable Insert	NA	-
Marca Comercial – Trade Mark	Todas (All)	-
Outros – Others:	NA	-

EPS Nº - WPS Nº AC-01

POSICÕES (QW-405)-POSITIONS (QW-405)				TRATAMENTO TÉRMICO APÓS A SOLDA (QW-407) POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407)																				
Posição(ões)do(s) chanfro(s) - Position(of) groove(s): 1G Progressão - Progression: () ascendente - uphill () descendente - downhill Posição(ões) para ângulo - Positions of fillet: NA Outra - Other: NA				Faixa de temperatura - Temp. Range: NA Tempo - Time range: NA Outra - Other: NA																				
PRÉ-AQUECIMENTO (QW-406) - PREHEAT (QW-406)				GAS (QW-408)																				
Temperatura mínima - Preheat minimum temperature: a) 15°C b) NA Temperatura entre-passes - Interpass Temp: 150°C (máx - max) Manutenção do pré aquecimento - Preheat maintenance: NA Outra - Other: NA				Composição percentual - Percent composition <table border="1"> <thead> <tr> <th>Gás(es)</th> <th>Mistura</th> <th>Vazão</th> </tr> <tr> <th>Gas(es)</th> <th>Mixture</th> <th>Flow rate</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ar</td> <td>-</td> <td>RAIZ: 12L/min ENCHIMENTO: 32 L/min</td> </tr> <tr> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table> Arco - Shielding Arraste - Trailing Outro - Other						Gás(es)	Mistura	Vazão	Gas(es)	Mixture	Flow rate	Ar	-	RAIZ: 12L/min ENCHIMENTO: 32 L/min	-	-	-	-	-	-
Gás(es)	Mistura	Vazão																						
Gas(es)	Mixture	Flow rate																						
Ar	-	RAIZ: 12L/min ENCHIMENTO: 32 L/min																						
-	-	-																						
-	-	-																						
CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS (QW-409)- ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)																								
CAMA DA(S)	PROCESSO	METAL DE ADIÇÃO		CORRENTE TIPO/POLAR	FAIXA DE CORRENTE	VEL. DO ARAME	ENERGIA	FAIXA DE VOLTAGEM	VELOCIDADE	OBS.														
		CLASSE	DIÂMETRO								Current Type and Polarity	Amps (Range)	Wire Feed Speed (Range)	Energy or Power (Range)	Volts (Range)	Travel Speed (Range)	REMARKS							
Weld Pass(es)	Process	Classification	Diameter																					
1	TIG (GTAW)	ER 70S-3	2,4 mm	CC-	130,0 – 138,9	NA	1,03 – 2,11 kJ/mm	10,0 – 12,5	21,35 – 88,36 mm/min	-														
2	TIG (GTAW)	ER 70S-3	3,25 mm	CC-	205,9 – 230,8	NA	1,63 – 2,20 kJ/mm	12,3 – 14,1	71,74 – 113,92 mm/min	-														
3	TIG (GTAW)	ER 70S-3	2,4 mm 3,25 mm	CC-	188,3 – 230,7	NA	1,06 – 1,71 kJ/mm	11,8 – 14,0	90,45 – 141,18 mm/min	-														
Corrente Current: () CA - AC (X) CC - DC Polaridade - Polarity: Direta (Direct) Faixa de amperagem e voltagem: ver tabela abaixo - Amps and volts range: listed in the table below: NA Eletrodo de tungstênio: (bitola e tipo) - Tungsten electrode: size and type: RAIZ: Ø2,5 EWTh-2 / ENCHIMENTO: Ø3,25 EWTh-2 Modo de transferência do metal - Mode of metal transfer: NA Faixa de velocidade de alimentação do arame - Electrode and wire feed speed range: NA Controle de Calor Imposto pela Soldagem - Heat Input Control: NA (CIS - HI = V x A x 60 / Vel. Avanço - Travel Speed) = NA MAX. - MAX.: -																								
TÉCNICA (QW-410) - TECHNIQUE																								
Passe - Bead: (X) reto - string () oscilante - weave Oscilação - Oscillation: 7,5 mm Máx. (Max.) Bitola do orifício ou bocal - Orifice, Nozzle or Gas Cup Size: RAIZ: bocal Ø10,0mm / ENCHIMENTO: bocal Ø12,0mm Limpeza inicial e entrepasses - Initial and interpass Cleaning: Escovamento e/ou esmerilhamento (Brushing and/or grinding) OBS: Inicialmente a superfície deverá estar ao metal brilhante para que se realize o Ensaio de Teste por Pontos com reagentes químicos com o intuito de detectar a presença de materiais não-ferrosos. Na ausência destes materiais, a remoção dos reagentes deverá ser feita com água. Método de goivagem - Method of Back Gouging: NA Oscilação - Oscillation: NA Distância entre a peça e o tubo de contato - Contact tube to work distance: NA Passe - Pass: (X) múltiplo - multiple () único, por lado - single per side Eletrodo - electrode: () múltiplo - multiple (X) simples - single Martelamento - Peening: NA Outro - Other: A utilização de processos térmicos não se aplica para este Pnº (Thermal process variable is not aplicable for the involved PNo)																								

ESPECIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM (EPS)

(WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS))

EPS Nº - WPS No.: AC-02 Data - Date: 26/11/2013 NORMA DE PROJETO - Code: ASME Sec. VIII Div.1 Ed.10 Ad. 11

RQPS Nº - WPQR No.: AC-02 Processo(s) de Soldagem - Welding Process(es): TIG (GTAW)

Tipos (Manual, Automático, Semi-Automático): Manual (Manual)

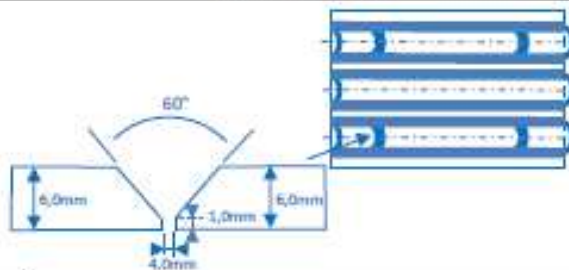
Types (Manual, Automatic, Semi-automatic)

JUNTAS (QW-402) - JOINTS (QW-402)		DETALHES - Details	
Tipo de chanfro - Joint Design: Cobre-juntas - Backing: <input type="checkbox"/> Sim - yes <input checked="" type="checkbox"/> Não - No Material do cobre-juntas - (Backing material) <input type="checkbox"/> metal - metal <input type="checkbox"/> metal não fundível - nonfusing metal <input type="checkbox"/> não metálico - nonmetallic <input type="checkbox"/> outro - other Retentor - Retainer <input type="checkbox"/> Sim (Yes) <input checked="" type="checkbox"/> Não (No)			
METAIS DE BASE (QW-403) - BASE METALS (QW-403)			
P-Nº - P.No.: 1	Grupo Nº - Group No.: Todas (Any)	com P-Nº - to P.No.: 1	Grupo Nº - Group No.: Todas (Any)
Especificação e grau - NA		OU - or	com - with
Análise química e propriedades mecânicas: NA		OU - or	Especificação e grau - to specification type and grade: NA
chemical analysis and mechanical properties: Faixa de espessura - Thickness range: Chanfro - Groove: 1,5 a 12,0 mm Ângulo - Fillet: Todas (All) Chanfro - Groove: NA Ângulo - Fillet: NA		(Sem teste de impacto - Without impact test). (Com teste de impacto - With impact test).	
Nenhum passe maior que 13,0 mm (No pass greater than 13,0 mm): - Outros - Other: NA			
METAIS DE ADIÇÃO (QW-404) - FILLER METALS (QW-404)			
Nº Especificação (SFA) - Specification No. (SFA)	5.18		-
Nº AWS (Classificação) - AWS No. (Classification)	ER 70S-3		-
F-Nº - F.No.:	6		-
A-Nº - A.No.:	1		-
Bitola - Size of filler metals:	2,4 mm; 3,25 mm		-
Forma do Metal de Adição - Filler Metal Product Form	Sólido (Solid)		-
Metal de Solda Adicional - Supplemental Filler Metal	NA		-
Metal de solda - Weld metal			
Faixa de espessura - Thickness range			
Chanfro - Groove	≤ 12,0 mm		-
Ângulo - Fillet	Todas (All)		-
Eletrodo-fluxo (Classificação) - Electrode-Flux(Class)	NA		-
Tipo do Fluxo - Flux Type	NA		-
Inserto consumível - Consumable Insert	NA		-
Marca Comercial - Trade Mark	Todas (All)		-
Outros - Others:	NA		-

ESPECIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM (EPS)

(WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS))

EPS Nº - WPS No.: AC-03 Data - Date: 28/11/2013 NORMA DE PROJETO - Code: ASME Sec. VIII Div.1 Ed.10 Ad. 11
 RQPS Nº - WPQR No.: AC-03 Processo(s) de Soldagem - Welding Process(es): TIG (GTAW)
 Tipos (Manual, Automático, Semi-Automático): Manual (Manual)
 Types (Manual, Automatic, Semiautomatic)

JUNTAS (QW-402) - JOINTS (QW-402)		DETALHES - Details
<p>Tipo de chanfro - Joint Design:</p> <p>Cobre-juntas - Backing:</p> <p style="padding-left: 20px;"><input type="checkbox"/> Sim - yes</p> <p style="padding-left: 20px;"><input checked="" type="checkbox"/> Não - No</p> <p>Material do cobre-juntas - (Backing material)</p> <p style="padding-left: 20px;"><input type="checkbox"/> metal - metal <input type="checkbox"/> metal não fundível - nonfusing metal</p> <p style="padding-left: 20px;"><input type="checkbox"/> não metálico - nonmetallic <input type="checkbox"/> outro - other</p> <p>Retentor - Retainer <input type="checkbox"/> Sim (Yes) <input checked="" type="checkbox"/> Não (No)</p>		
METAIS DE BASE (QW-403) - BASE METALS (QW-403)		
<p>P-Nº - P.No.: 1 Grupo Nº - Group No.: Todas (Any)</p>	<p>com P-Nº - to P.No.: 1 Grupo Nº - Group No.: Todos (Any)</p>	<p>OU - or</p> <p>com - with Especificação e grau - to specification type and grade: NA</p> <p>OU - or</p> <p>para - to Análise química e propriedades mecânicas: NA</p> <p style="font-size: small;">chemical analysis and mechanical properties:</p>
<p>Faixa de espessura - Thickness range:</p> <p style="padding-left: 20px;">Chanfro - Groove: 1,5 a 12,0 mm Ângulo - Fillet: Todas (All) (Sem teste de impacto - Without impact test).</p> <p style="padding-left: 20px;">Chanfro - Groove: NA Ângulo - Fillet: NA (Com teste de impacto - With impact test).</p> <p>Nenhum passe maior que 13,0 mm (No pass greater than 13,0 mm): -</p> <p>Outros - Other: NA</p>		
METAIS DE ADIÇÃO (QW-404) - FILLER METALS (QW-404)		
<p>Nº Especificação (SFA) - Specification No. (SFA)</p>	5.18	-
<p>Nº AWS (Classificação) - AWS No. (Classification)</p>	ER 70S-3	-
<p>F-Nº - F.No.:</p>	6	-
<p>A-Nº - A.No.:</p>	1	-
<p>Bitola - Size of filler metals:</p>	2,4 mm; 3,25 mm	-
<p>Forma do Metal de Adição - Filler Metal Product Form</p>	Sólido (Solid)	-
<p>Metal de Solda Adicional - Supplemental Filler Metal</p>	NA	-
<p>Metal de solda - Weld metal</p> <p style="padding-left: 20px;">Faixa de espessura - Thickness range</p> <p style="padding-left: 40px;">Chanfro - Groove</p> <p style="padding-left: 40px;">Ângulo - Fillet</p>	<p>≤ 12,0 mm</p> <p>Todas (All)</p>	<p>-</p> <p>-</p>
<p>Eletrodo-fluxo (Classificação) - Electrode-Flux(Class)</p>	NA	-
<p>Tipo do Fluxo - Flux Type</p>	NA	-
<p>Inserto consumível - Consumable insert</p>	NA	-
<p>Marca Comercial - Trade Mark</p>	Todas (All)	-
<p>Outros - Others:</p>	NA	-

ANEXO B – Desenho dos CP para fabricação

