

**Edgard Rodrigues da Silva**

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA FACE DA RAIZ NA  
PRODUTIVIDADE, DUREZA E TAMANHO DA ZAC  
PARA A SOLDAGEM NO PROCESSO TIG DO AÇO  
ASTM A335 Gr P11.**

Monografia apresentada ao Programa de  
Educação Continuada em Engenharia da Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo para  
conclusão de curso de Especialização.

São Paulo

03/2013

**Edgard Rodrigues da Silva**

Tecnólogo Mecânico Modalidade Soldagem, FATEC, 2002.

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA FACE DA RAIZ NA  
PRODUTIVIDADE, DUREZA E TAMANHO DA ZAC  
PARA A SOLDAGEM NO PROCESSO TIG DO AÇO  
ASTM A335 Gr P11.**

Monografia apresentada ao Programa de Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para conclusão de curso de Especialização.

Área de Concentração: Engenharia da Soldagem

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Duarte Brandi

São Paulo

03/2013

*"Pensar é o trabalho mais pesado que existe, e, talvez, seja essa a razão para tão poucas pessoas se dedicarem a tal tarefa".*

*Henry Ford*

## **DEDICATÓRIA**

*Dedico este trabalho a Eng. Cleonice Garcia Melo, sem a qual com certeza este trabalho não teria sido realizado.*

### **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, por me dar forças para realização deste trabalho;

À minha família, principalmente minha esposa Dayane e meus filhos Kevin e Erick pelo incentivo e compreensão;

Ao professor Sergio Duarte Brandi por ter me orientado neste trabalho;

À empresa Montcalm pelo patrocínio e disponibilidade de materiais para utilização neste trabalho;

À Eng. Cleonice Garcia Melo pelo incentivo nos momentos mais difíceis;

Ao Eng. Fabricio Aguiar Vieira Pinto pelo apoio na soldagem e elaboração deste trabalho;

Ao soldador Cloves Antônio Agustavo pela soldagem;

À empresa Metaltec pela realização do ensaio de gamagrafia, ao Eng. Odair Jose Nardi e os Inspectores radiográficos Paulo Massayuki Satudi e João Domingos da Silva.

Ao laboratório Teamlab pela realização dos ensaios, em especial ao Técnico Gustavo Felipe Brito pelo apoio e preparação das amostras E a todos os meus colegas de sala e professores da turma 3 do curso de Especialização em Engenharia de soldagem.

### **RESUMO**

O presente trabalho busca fazer uma comparação entre duas soldagens realizadas no processo “Tungsten Inert Gas” (TIG) em tubulações do aço ASTM A335 Gr P11 [1], com diâmetro de 168,3 mm (6”) e espessura de 11,0 mm, em que é analisada a influência da face da raiz na produtividade, no tamanho da Zona afetada pelo Calor (ZAC); dureza e nas dimensões do cordão de solda.

Durante a soldagem foram utilizados alguns dos critérios estabelecidos na norma AWS D10.8 [2], Práticas Recomendadas para a Soldagem de Tubulações de Aços Cr-Mo. Os tempos de soldagem foram medidos e as quantidades de consumíveis utilizadas foram pesadas ao término da soldagem.

Para analisar os resultados da soldagem foram realizados os ensaios de macrografia conforme norma ASME IX [3], e de dureza conforme norma Petrobras N133 [4]. Os Corpos de Prova 1 e 2 (CP1 e CP2) foram radiografados e divididos em quadrantes para retirada das amostras.

Os resultados mostraram que a face da raiz tem uma influência considerável na produtividade e no tamanho da ZAC.

**ABSTRACT**

This study aims to make a comparison between two welding performed in the "Tungsten Inert Gas" (TIG) of the pipe steel ASTM A335 Gr P11 [1], with a diameter of 168.3 mm (6 ") and a thickness of 11.0 mm, wherein are analyzed the influence of the root face on productivity, the size of the heat affected zone (HAZ), hardness and dimensions of the weld bead. During welding were used some of the criteria established in AWS D10.8 [2] Recommended Practices for Welding of Steel Pipes Cr-Mo. The times of the welding were measured and quantities of filler metal used were weighed at the end of welding.

To analyze the results of the welding, the following tests were performed, macro-examination according to ASME IX [3], and hardness according Petrobras standard N133 [4]. The Test Specimen 1 and 2 (CP1 and CP2) were radiographed and divided into quadrants for removal of samples.

The results showed that the face of the root has a considerable influence on productivity and the size of the HAZ.

## **LISTA DE FIGURAS**

|                                                                                                                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 2.1</b> – Esquema básico da soldagem TIG [21] .....                                                                                                                                                                   | 13 |
| <b>Figura 2.2</b> – Equipamentos para soldagem TIG [22] .....                                                                                                                                                                   | 14 |
| <b>Figura 2.3</b> – Características da polaridade para soldagem TIG [15].....                                                                                                                                                   | 16 |
| <b>Figura 2.4</b> – Dimensões do chanfro para soldagem TIG no passe de raiz em tubulações com espessura maiores que 3,0 até 10,0 mm [19]...                                                                                     | 22 |
| <b>Figura 2.5</b> – Dimensões do chanfro para soldagem TIG no passe de raiz em tubulações com espessura maiores que 10,0 até 25,0 mm [19].                                                                                      | 23 |
| <b>Figura 2.6</b> – Repartição térmica de uma soldagem [10]. .....                                                                                                                                                              | 24 |
| <b>Figura 2.7</b> – Regiões de uma junta soldada.....                                                                                                                                                                           | 25 |
| <b>Figura 4.1</b> – Dimensões dos corpos de prova CP1 e CP2 .....                                                                                                                                                               | 30 |
| <b>Figura 4.2</b> – Detalhe do ângulo do chanfro .....                                                                                                                                                                          | 31 |
| <b>Figura 4.3</b> – Detalhe da preparação da face da raiz 0 mm e 2 mm respectivamente .....                                                                                                                                     | 31 |
| <b>Figura 4.4</b> – Soldagem tubo ASTM A335 Gr P11 processo TIG posição 1G – girando .....                                                                                                                                      | 32 |
| <b>Figura 4.5</b> – Perfuração ocorrida na soldagem CP2 abertura de raiz 4,5 mm                                                                                                                                                 | 34 |
| <b>Figura 4.6</b> – Dimensões dos chanfros dos CP1 e CP2 .....                                                                                                                                                                  | 34 |
| <b>Figura 4.7</b> – Perfil de dureza para chanfro em V conforme Petrobras N133 K                                                                                                                                                | 36 |
| <b>Figura 4.8</b> – Local retirada dos corpos de prova macrografia e de dureza ....                                                                                                                                             | 36 |
| <b>Figura 5.1</b> – Mordedura de raiz CP1 posição 1-2.....                                                                                                                                                                      | 37 |
| <b>Figura 5.2</b> – Poro CP1 posição 3-0.....                                                                                                                                                                                   | 37 |
| <b>Figura 5.3</b> – Porosidade CP2 posição 0-1. ....                                                                                                                                                                            | 38 |
| <b>Figura 5.4</b> – Porosidade CP2 posição 1-2. ....                                                                                                                                                                            | 38 |
| <b>Figura 5.5</b> – Porosidade CP2 posição 2-3. ....                                                                                                                                                                            | 38 |
| <b>Figura 5.6</b> – Porosidade CP2 posição 3-0. ....                                                                                                                                                                            | 39 |
| <b>Figura 5.7</b> – Variação na largura da raiz posição 1-2 CP1 .....                                                                                                                                                           | 40 |
| <b>Figura 5.8</b> – Distribuição de indicações arredondadas distribuídas consideradas aceitáveis em 150 mm de solda, para espessuras de 10 a 19 mm, conforme norma ASME VIII e divisão 1 apêndice 4 e ASME I apêndice A250..... | 40 |
| <b>Figura 5.9</b> – Dimensões dos chanfros na face antes da soldagem.....                                                                                                                                                       | 41 |
| <b>Figura 5.10</b> – Análise da largura do cordão na macrografia do CP1. ....                                                                                                                                                   | 42 |
| <b>Figura 5.11</b> – Dimensões chanfro do CP1 .....                                                                                                                                                                             | 45 |
| <b>Figura 5.12</b> – Cálculo teórico consumível depositado para CP1.....                                                                                                                                                        | 45 |
| <b>Figura 5.13</b> – Dimensões chanfro do CP2 .....                                                                                                                                                                             | 46 |
| <b>Figura 5.14</b> – Cálculo teórico consumível depositado para CP2.....                                                                                                                                                        | 46 |
| <b>Figura 5.15</b> – Medida do tamanho da ZAC do CP1.....                                                                                                                                                                       | 50 |
| <b>Figura 5.16</b> – Medida do tamanho da ZAC do CP2.....                                                                                                                                                                       | 51 |
| <b>Figura 5.17</b> – Falta de fusão entre passes CP1 posição 0 .....                                                                                                                                                            | 52 |

## **LISTA DE TABELAS**

|                                                                                                                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 2.1</b> – Classificação dos aços Cr - Mo [2] .....                                                                                                                                                                  | 5  |
| <b>Tabela 2.2</b> – Seleção de consumíveis [2] .....                                                                                                                                                                          | 6  |
| <b>Tabela 2.3</b> – Classificação dos consumíveis [2] .....                                                                                                                                                                   | 6  |
| <b>Tabela 2.4</b> – Especificações ASME II parte C [2] .....                                                                                                                                                                  | 6  |
| <b>Tabela 2.5</b> – Temperatura recomendada para pré-aquecimento [2] .....                                                                                                                                                    | 7  |
| <b>Tabela 2.6</b> – Temperatura de tratamento térmico de alívio de tensões [2] .....                                                                                                                                          | 9  |
| <b>Tabela 2.7</b> – Composição química do material ASTM A335 Gr P11 [1] .....                                                                                                                                                 | 11 |
| <b>Tabela 2.8</b> – Propriedades mecânicas na temperatura ambiente do material<br>ASTM A335 Gr P11 na condição normalizada e recozida [1] .....                                                                               | 11 |
| <b>Tabela 2.9</b> – Propriedades físicas do material ASTM A335 Gr P11 [13] .....                                                                                                                                              | 12 |
| <b>Tabela 2.10</b> – Temperaturas de conformação e tratamento térmico do<br>material ASTM A335 Gr P11 [13] .....                                                                                                              | 12 |
| <b>Tabela 2.11</b> – Composição química dos eletrodos de tungstênio [16] .....                                                                                                                                                | 17 |
| <b>Tabela 2.12</b> – Faixas de correntes para eletrodos de tungstênio [16] .....                                                                                                                                              | 17 |
| <b>Tabela 4.1</b> – Análise da composição química do tubo ASTM A335 Gr P11 .....                                                                                                                                              | 27 |
| <b>Tabela 4.2</b> – Análise da resistência à tração do tubo ASTM A335 Gr P11 .....                                                                                                                                            | 27 |
| <b>Tabela 4.3</b> – Análise da composição química do consumível ER80S-B2 .....                                                                                                                                                | 28 |
| <b>Tabela 4.4</b> – Análise da resistência à tração do tubo ASTM A335 Gr P11 .....                                                                                                                                            | 28 |
| <b>Tabela 4.5</b> – Parâmetros de soldagem CP1 .....                                                                                                                                                                          | 33 |
| <b>Tabela 4.6</b> – Parâmetros de soldagem CP2 .....                                                                                                                                                                          | 33 |
| <b>Tabela 5.1</b> – Comparação dos critérios de aceitação das normas ASME IX,<br>ASME B31.3 que utiliza os critérios a norma ASME VIII Div. 1 e<br>ASME B31.1 que utiliza os critérios de aceitação da norma ASME I.<br>..... | 40 |
| <b>Tabela 5.2</b> – Comparação resultados dimensionais do cordão de solda .....                                                                                                                                               | 41 |
| <b>Tabela 5.3</b> – Valores médios do ensaio de dureza (HV10) .....                                                                                                                                                           | 43 |
| <b>Tabela 5.4</b> – Análise da produtividade CP1 e CP2. ....                                                                                                                                                                  | 44 |
| <b>Tabela 5.5</b> – Análise das quantidades de consumíveis utilizados .....                                                                                                                                                   | 47 |
| <b>Tabela 5.6</b> – Comparação das dimensões dos reforços de solda .....                                                                                                                                                      | 47 |
| <b>Tabela 5.7</b> – Análise das quantidades de consumíveis utilizados considerando<br>reforço real .....                                                                                                                      | 48 |
| <b>Tabela 5.8</b> – Taxa de deposição obtida CP1 e CP2 .....                                                                                                                                                                  | 48 |
| <b>Tabela 5.9</b> – Medida do tamanho e cálculo das médias da ZAC do CP1 .....                                                                                                                                                | 50 |
| <b>Tabela 5.10</b> – Medida do tamanho e cálculo das médias da ZAC do CP2 .....                                                                                                                                               | 51 |
| <b>Tabela 5.11</b> – Resultados médios do tamanho da ZAC .....                                                                                                                                                                | 52 |

**LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS.**

|       |                                            |
|-------|--------------------------------------------|
| A:    | Corrente de Soldagem                       |
| ACP1: | Área do Chanfro CP1                        |
| ACP2: | Área do Chanfro CP2                        |
| ar:   | Abertura da Raiz                           |
| ASME: | American Society of Mechanical Engineers   |
| ASTM: | American Society For Testing And Materials |
| AWS:  | American Welding Society                   |
| CA:   | Corrente Alternada                         |
| CC-:  | Corrente Contínua Polaridade Direta        |
| CC+:  | Corrente Contínua Polaridade Inversa       |
| CP:   | Corpo de Prova                             |
| Cs:   | Comprimento de solda                       |
| e:    | Espessura do Metal Base                    |
| FCAW: | Flux-cored Arc Welding                     |
| GMAW: | Gas metal Arc Welding                      |
| GTAW: | Gas Tungsten Arc Welding                   |
| HAZ:  | Heat Affected Zone                         |
| hc:   | Altura do Chanfro                          |
| hr:   | Altura da Face da Raiz                     |

|       |                               |
|-------|-------------------------------|
| LE:   | Limite de Escoamento          |
| lf:   | Largura da Face               |
| LR:   | Limite de Resistência         |
| MB:   | Metal Base                    |
| MIG:  | Metal Inert Gas               |
| pr:   | Penetração da Raiz            |
| Qc:   | Quantidade de Consumível      |
| rf:   | Reforço da Face               |
| SAW:  | Submerged Arc Welding         |
| SMAW: | Shielded Metal Arc Welding    |
| Tc:   | Temperatura Crítica           |
| Tf:   | Temperatura de Fusão          |
| TIG:  | Tungsten Inert Gas            |
| Tp:   | Temperatura de pico           |
| V:    | Tensão de Soldagem            |
| VCP1: | Volume de solda calculado CP1 |
| VCP2: | Volume de solda calculado CP2 |
| VS:   | Velocidade de Soldagem        |
| ZAC:  | Zona Afetada pelo Calor       |
| ZF:   | Zona Fundida                  |

- $\epsilon$ : Energia de Soldagem
- $\theta$ : Ângulo do chanfro
- P: Densidade do Consumível

## **SUMÁRIO**

|                                               |      |
|-----------------------------------------------|------|
| DEDICATÓRIA.....                              | ii   |
| AGRADECIMENTOS .....                          | iii  |
| RESUMO .....                                  | iv   |
| ABSTRACT .....                                | v    |
| LISTA DE FIGURAS.....                         | vi   |
| LISTA DE TABELAS.....                         | vii  |
| LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS..... | viii |
| SUMÁRIO.....                                  | xi   |
| 1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....            | 1    |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....                 | 4    |
| 2.1. AÇOS Cr-Mo .....                         | 4    |
| 2.2.1 PROPRIEDADES.....                       | 4    |
| 2.2.2 SOLDABILIDADE .....                     | 5    |
| 2.2. TUBO ASTM A335 Gr P11.....               | 11   |
| 2.3. PROCESSO DE SOLDAGEM TIG .....           | 12   |
| 2.2.3 FUNDAMENTOS DO PROCESSO.....            | 12   |
| 2.2.4 HISTÓRICO.....                          | 13   |
| 2.2.5 EQUIPAMENTOS.....                       | 13   |
| 2.2.6 FONTES DE ENERGIA .....                 | 14   |
| 2.2.7 ELETRODOS DE TUNGSTÊNIO.....            | 16   |
| 2.2.8 GASES DE PROTEÇÃO.....                  | 17   |
| 2.2.9 PARÂMETROS DE SOLDAGEM .....            | 18   |
| 2.2.10 APLICAÇÕES E LIMITAÇÕES.....           | 20   |
| 2.4. PROJETO E PREPARAÇÃO DE JUNTA .....      | 21   |
| 2.5. REGIÕES DA JUNTA SOLDADA.....            | 23   |
| 3. OBJETIVOS.....                             | 26   |
| 4. MATERIAIS E MÉTODOS .....                  | 27   |
| 4.1. MATERIAIS .....                          | 27   |
| 4.1.1. METAL BASE .....                       | 27   |
| 4.1.2. METAL DE ADIÇÃO .....                  | 28   |
| 4.1.3. OUTROS MATERIAIS UTILIZADOS.....       | 29   |
| 4.2. MÉTODOS.....                             | 30   |
| 4.2.1. PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA .....   | 30   |
| 4.2.2. SOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA.....      | 31   |
| 4.2.3. INSPEÇÕES E ENSAIOS.....               | 35   |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....               | 37   |
| 5.1. ENSAIO DE GAMAGRAFIA .....               | 37   |
| 5.2. DIMENSIONAL DA SOLDA .....               | 41   |
| 5.3. SOLDAGEM DA RAIZ.....                    | 42   |
| 5.4. ENSAIO DE DUREZA.....                    | 43   |

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| 5.5. PRODUTIVIDADE.....                                            | 43 |
| 5.6. QUANTIDADE DE CONSUMÍVEL DEPOSITADO .....                     | 44 |
| 5.7. TAMANHO DA ZAC .....                                          | 49 |
| 5.8. MACROGRAFIA.....                                              | 52 |
| 6. CONCLUSÕES.....                                                 | 53 |
| SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS .....                               | 54 |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS: .....                               | 55 |
| ANEXO I - PATENTE DO PROCESSO DE SOLDAGEM TIG .....                | 57 |
| ANEXO II - CERTIFICADO DO TUBO ASTM A335 GR P11 .....              | 62 |
| ANEXO III - CERTIFICADO DO CONSUMÍVEL ER80S-B2.....                | 64 |
| ANEXO IV - CERTIFICADO DO GÁS ARGÔNIO INDUSTRIAL .....             | 65 |
| ANEXO V - CATALOGO LINCOLN INVERTEC 270S.....                      | 66 |
| ANEXO VI - RELATÓRIO DE GAMAGRAFIA DO CP1 .....                    | 67 |
| ANEXO VII - RELATÓRIO DE GAMAGRAFIA DO CP2.....                    | 68 |
| ANEXO VIII - RELATÓRIO DE ACOMPANHAMENTO DE SOLDAGEM DO CP1 ...    | 69 |
| ANEXO IX - RELATÓRIO DE ACOMPANHAMENTO DE SOLDAGEM DO CP2 .....    | 70 |
| ANEXO X - RELATÓRIO DE ENSAIOS DE MACROGRAFIA E DUREZA DO CP1..... | 71 |
| ANEXO XI - RELATÓRIO DE ENSAIOS DE MACROGRAFIA E DUREZA DO CP2 .   | 73 |

## **1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA**

As plantas de geração de energia e refinarias de petróleo buscam sempre uma maior eficiência no seu processo, visando uma redução do consumo de combustível e consequente diminuição da emissão de CO<sub>2</sub>.

Sendo assim os equipamentos como vasos de pressão, turbinas e sistemas de tubulações trabalham com elevados parâmetros pressão e temperaturas. Parâmetros os quais são cada vez mais próximos aos limites estabelecidos para os materiais empregados. [5], visto então a importância de se realizar com segurança e qualidade, os serviços de montagem e de manutenção executados nestas unidades.

Devido a esta exigência na construção e na manutenção de plantas de energia e petróleo, existem diversas normas específicas para cada aplicação e equipamentos como ASME IX [3], ASME B1.1 [6]; ASME B31.3 [7], ASME VIII Div. 1 [8], ASME I [9], AWS D10.8 [2], são largamente aplicadas nestas áreas e servirão de referência para este estudo. Estas normas estabelecem regras a serem seguidas para projeto, montagem, soldagem e inspeção, a fim de obter uma garantia de que durante o seu funcionamento o equipamento não falhará inesperadamente antes do tempo previsto causando acidentes graves e prejuízos na produção.

Sendo assim, a execução de serviços de soldagens com qualidade é cada vez mais de grande importância e responsabilidade para se evitar estes acidentes e prejuízos.

Os aços Cr-Mo são muito aplicados nas plantas de geração de energia e refinarias de petróleo, para a fabricação de tubulações de processo e de vapor, onde se necessita de uma combinação de boas propriedades mecânicas a altas temperaturas associada a uma resistência a corrosão.

Para a construção, montagem e manutenção destas tubulações, o processo de soldagem TIG é um dos mais empregados, devido ao fato de que o ele proporciona uma excelente qualidade de soldagem no passe de raiz, precisão, e principalmente no caso da soldagem dos aços Cr-Mo o processo TIG introduz baixos níveis de hidrogênio durante a soldagem.

O hidrogênio é sem duvida o principal problema na soldabilidade dos aços Cr-Mo, sendo o causador de trincas a frio. Durante a soldagem o hidrogênio pode estar presente em consumíveis, gases de proteção, atmosfera, óxidos e sujeiras. Ele dissocia-se devido ao arco elétrico e é facilmente absorvido pela poça de fusão. Após a solidificação do metal fundido, ocorre uma diminuição da solubilidade do hidrogênio no material, fazendo com que este fique concentrado em defeitos e pontos de concentração de tensão, isto associado a uma microestrutura frágil acaba gerado as trincas a frio.

O contraponto da soldagem no processo TIG é o fato que a taxa de deposição consumível é baixa com relação aos outros processos de soldagem, e a mão de obra tenha que ser extremamente habilidosa, sendo necessários estudos, desenvolvimentos e dispositivos para aumentar esta produtividade e facilitar a soldagem, diminuindo a extrema dependência do soldador para a execução de uma soldagem com qualidade.

O processo de soldagem união por soldagem ao arco elétrico produz uma ZAC, que tem propriedades mecânicas inferiores ao do metal base e também a do metal de solda fundido, devido às altas temperaturas que esta região fica exposta durante o processo de soldagem, tornando a ZAC a região mais susceptível a falhas, como corrosão e trincas. Sendo muito importante encontrar meios de se diminuir o tamanho desta ZAC.

O chanfro para a soldagem deve ser projetado conforme normas aplicáveis, e principalmente deve sempre estar de acordo com o processo de soldagem a ser aplicado, visando sempre a acessibilidade, diminuição da quantidade de metal de solda depositado e também no controle de distorções durante a soldagem. No caso específico para a soldagem de tubulações onde não é possível o acesso pelo lado interno da junta, o projeto do chanfro tem que facilitar de todas as maneiras a realização da soldagem do primeiro passe de raiz.

O presente trabalho busca verificar a influência do ângulo da face da raiz, na soldagem no processo TIG de tubulações do material ASTM A335 Gr P11, tendo como referência os critérios estabelecidos nas normas de fabricação e inspeção. As comparações foram feitas na avaliação do tamanho da ZAC, na dureza, no formato do cordão de solda, na produtividade e também uma verificação com relação à temperatura de pré-aquecimento aplicável para o processo de soldagem TIG.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. AÇOS Cr-Mo**

#### **2.2.1 PROPRIEDADES**

Os aços Cr-Mo podem ser definidos como aços carbono que recebem adições de 0,5 a 9,0% Cr, 0,5 a 1,0% Mo e 0,20% C max. Tendo estes elementos as seguintes funções principais:

- Cr – melhora a resistência à oxidação e a corrosão;
- Mo – aumenta a resistência mecânica a altas temperaturas;
- C – aumenta resistência mecânica, porém diminuiu a soldabilidade.

Os aços Cr-Mo foram desenvolvidos para aplicações a temperaturas elevadas, sendo muito usados em tubulações que operam a alta pressão e em temperaturas entre cerca de 370 e 600°C. Nesta faixa de temperatura, os aços Cr-Mo mantêm uma resistência mecânica adequada, além de não sofrerem problema de fluência nem de fragilização após longos períodos de uso. São comumente usados na condição normalizada ou temperada e revenida com a resistência mecânica variando entre 590 940 MPa a temperatura ambiente. As composições químicas nominais, os graus classificados conforme normas ASME e ASTM e as siglas de abreviatura destes aços são descritos na tabela 2.1. [10]; [11]; [12].

**Tabela 2.1** – Classificação dos aços Cr - Mo [2]

| <b>Composição química nominal</b> | <b>ASME / ASTM Grau</b> | <b>Abreviatura</b> |
|-----------------------------------|-------------------------|--------------------|
| Carbono – 0,5 %Mo                 | P1 ou T1                | C – Mo             |
| 0,5 %Cr – 0,5 %Mo                 | P2 ou T2                | ½Cr – Mo           |
| 1,0 %Cr – 0,5 %Mo                 | P12 ou T12              | 1 Cr – Mo          |
| 1,25 %Cr – 0,5 %Mo                | P11 ou T11              | 1¼Cr – Mo          |
| 2,0 %Cr – 0,5 %Mo                 | T3b                     | 2 Cr – Mo          |
| 2,25 %Cr – 1,0 %Mo                | P22 ou T22              | 2¼Cr – Mo          |
| 3,0 %Cr – 1,0 %Mo                 | P21 ou T21              | 3 Cr – Mo          |

### 2.2.2 SOLDABILIDADE

A soldagem dos aços Cr-Mo é simples como a soldagem dos aços carbono, porém é necessário alguns cuidados adicionais com relação à seleção dos consumíveis de soldagem, pré-aquecimento e tratamento térmico que serão descritas detalhadamente a seguir.

Os processos de soldagem comumente aplicados para tubulações são Eletrodo Revestido (SMAW), TIG (GTAW) e MIG (GMAW), porém os processos Arco Submerso (SAW) e Arame Tubular (FCAW) também podem utilizados.

#### 2.2.2.1 CONSUMIVEIS

Os consumíveis para a soldagem dos aços Cr-Mo possuem composição química similar a do metal base, as tabelas 2.2, 2.3 e 2.4, utilizadas em conjunto, auxiliam na escolha correta do consumível de acordo com o processo de soldagem e metal de base, indicando também a especificação e classificação do consumível conforme a norma ASME II parte C, para a soldagem dos aços Cr-Mo e suas combinações com os aços carbono e aços inoxidáveis. [2]

**Tabela 2.2 – Seleção de consumíveis [2]**

| Metal Base     | Aço Carbono    | C-Mo           | ½ – 1¼ Cr-Mo   | 2 e 2¼ Cr-Mo   | 3 e 5 Cr-Mo    | 7 Cr-Mo        | 9 Cr-Mo        | 9 Cr-Mo-V      | Inox serie 300 |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Aço Carbono    | <sup>1</sup>   | A              | A              | A              | A              | A              | A              | A              | I <sup>3</sup> |
| C-Mo           | A              | B              | B              | B              | B              | B              | B              | B              | I <sup>3</sup> |
| ½ – 1¼ Cr-Mo   | A              | B              | C <sup>2</sup> | C              | C              | C              | C              | C              | I <sup>3</sup> |
| 2 e 2¼ Cr-Mo   | A              | B              | C              | D              | D              | D              | D              | D              | I <sup>3</sup> |
| 3 e 5 Cr-Mo    | A              | B              | C              | D              | E              | E              | E              | E              | I <sup>3</sup> |
| 7 Cr-Mo        | A              | B              | C              | D              | E              | F              | F              | F              | I <sup>3</sup> |
| 9 Cr-Mo        | A              | B              | C              | D              | E              | F              | G              | G              | I <sup>3</sup> |
| 9 Cr-Mo-V      | A              | B              | C              | D              | E              | F              | G              | H              | I <sup>3</sup> |
| Inox serie 300 | I <sup>3</sup> | I <sup>3</sup> | I <sup>3</sup> | I <sup>3</sup> | I <sup>3</sup> | I <sup>3</sup> | I <sup>3</sup> | I <sup>3</sup> | <sup>4</sup>   |

Notas:

1. Conforme AWS D10.12, Práticas Recomendadas e procedimentos pra soldagem de tubulações de aço carbono
2. Para metal base 1/2 Cr-Mo, E8018-B1eE8xT1-B1M ou -B1LM pode ser aplicado nos processos SMAW e FCAW respectivamente.
3. Para serviços em temperatura até 315°C, consumíveis do tipo E309 ou E309Mo são frequentemente aplicados.
4. Conforme AWS D10.4, Práticas Recomendadas para Soldagem de tubulação de Aço Inoxidável.

**Tabela 2.3 – Classificação dos consumíveis [2]**

| Letra | Metal Base  | SMAW <sup>1</sup>     | GTAW/GMAW                 | FCAW                    |
|-------|-------------|-----------------------|---------------------------|-------------------------|
| A     | Aço carbono | E7018                 | ER70S-2 ou 3              | E7X-T5M, -T9M ou -T12M  |
| B     | C-Mo        | E7018-A1              | ER70S-B2L ou ER80S-B2 (7) | E7XT5-A1M ou E8XT1-A1M  |
| C     | 1 – ¼ Cr-Mo | E7018-B2L ou E8018-B2 | ER70S-B2L ou ER80S-B2     | E8XTX-B2LM ou E8XTX-B2M |
| D     | 2 – ¼ Cr-Mo | E8018-B3L ou E9018-B3 | ER80S-B3L ou ER90S-B3     | E9XTX-B3LM ou E9XTX-B3M |
| E     | 5 Cr-Mo     | E8018-B6 ou B6L       | ER80S-B6                  | <sup>2</sup>            |
| F     | 7 Cr-Mo     | E8018-B7 ou B7L       | <sup>2</sup>              | <sup>2</sup>            |
| G     | 9 Cr-Mo     | E8018-B8 ou B8L       | ER80S-B8                  | <sup>2</sup>            |
| H     | 9 Cr-Mo-V   | E9018-B9              | ER90S-B9                  | <sup>2</sup>            |
| I     | Ni-Cr-Fe    | ENiCrFe-2 ou -3       | ERNiCr-3                  | <sup>2</sup>            |

Notas:

1. Onde descrito eletrodo tipo 18 eletrodos com tipo 15 e 16 de revestimentos são igualmente aceitáveis.
2. Consumíveis podem não ser classificados pela norma ASME II parte C ou não ser disponíveis comercialmente.

**Tabela 2.4 – Especificações ASME II parte C [2]**

| Material                 | SMAW    | GTAW/GMAW | FCAW    |
|--------------------------|---------|-----------|---------|
| Aço Carbono              | SFA5.1  | SFA5.18   | SFA5.20 |
| Aços Baixa Liga          | SFA5.5  | SFA5.28   | SFA5.29 |
| Ligas de Níquel          | SFA5.11 | SFA5.14   | —       |
| Aço Inoxidável serie 300 | SFA5.4  | SFA5.9    | SFA5.22 |

### 2.2.2.2 PRÉ-AQUECIMENTO

O pré-aquecimento é recomendado para a soldagem dos aços Cr-Mo e deve ser mantido durante todo o processo de soldagem e operações de preparação como o corte e ponteamto. Deve ser aplicado no local da soldagem e também em regiões adjacentes em todo contorno da junta para permitir uma distribuição uniforme da temperatura. Os métodos de pré-aquecimento aplicados podem ser com chama oxi-combustível ou por resistência elétrica, a tabela 2.5 recomenda as temperaturas de pré-aquecimento para os aços Cr-Mo [2].

**Tabela 2.5** – Temperatura recomendada para pré-aquecimento [2]

| <b>Metal Base</b> | <b>Pré-aquecimento (°C)</b> |
|-------------------|-----------------------------|
| Aço Carbono       | 10                          |
| C-Mo              | 80                          |
| ½Cr-Mo            | 80                          |
| 1 – 1¼ Cr-Mo      | 120                         |
| 2 – 3 Cr – Mo     | 150                         |
| 5– 9 Cr – Mo      | 200                         |
| 9 Cr – Mo – V     | 200                         |
| Inox série 300    | 0                           |

Interrupções no pré-aquecimento são aceitáveis desde que não prejudiquem ductilidade do material, tensão residual, e difusibilidade do hidrogênio a fim de prevenir trincas a frio. Para aços Cr-Mo com valores menores que 4%Cr, o pré-aquecimento pode ser interrompido somente após 2 camadas ou 1/3 do chanfro estiver preenchido. Para aços Cr-Mo com valores maiores que 4%Cr ou para grandes espessuras é recomendável que o pré-aquecimento seja mantido até o término da soldagem e posterior aplicação de pós-aquecimento ou tratamento térmico. [2]

O pós-aquecimento trata-se de um aquecimento com temperatura de aproximadamente 50°C acima da temperatura indicada de pré-aquecimento e mantido nesta temperatura de 15 minutos a 4 horas dependendo da composição química do material, para permitir a difusão do hidrogênio evitando assim trincas a frio. [2]

Quando o processo de soldagem TIG é utilizado no passe de raiz, temperaturas de pré-aquecimento mais baixas podem ser aplicadas para evitar penetração excessiva e perfurações, os demais passes devem seguir temperaturas especificadas na tabela 2.5 [2].

#### *2.2.2.3 TRATAMENTO TÉRMICO*

O tratamento térmico de alívio de tensões é aplicado após a soldagem dos aços Cr – Mo com o objetivo de:

- a) Promover o alívio de tensões residuais
- b) Revenir e restaurar a ductilidade do material
- c) Promover a difusão do hidrogênio

Com isso pode-se reduzir o risco de trincas, melhorar as propriedades mecânicas e melhorar resistência à corrosão. A tabela 2.6 indica os parâmetros de tratamento térmico de acordo com a espessura e composição química do material [2]

**Tabela 2.6** – Temperatura de tratamento térmico de alívio de tensões [2]

| Metal Base     | Espessura (mm) | Temperatura de patamar (°C) <sup>3</sup> |
|----------------|----------------|------------------------------------------|
| Aço carbono    | ≤ 19           | NA <sup>1</sup>                          |
|                | > 19           | 590 a 675                                |
| C-Mo           | ≤ 16           | NA <sup>1</sup>                          |
|                | > 16           | 620 a 700                                |
| ½Cr-Mo         | ≤ 16           | NA <sup>1</sup>                          |
|                | > 16           | 620 a 700                                |
| 1 – 1¼ Cr-Mo   | ≤ 13           | NA <sup>1,2</sup>                        |
|                | > 13           | 675 a 750                                |
| 2 – 3 Cr – Mo  | ≤ 10           | NA <sup>1,2</sup>                        |
|                | > 10           | 700 a 760                                |
| 5– 9 Cr – Mo   | Todas          | 700 a 760                                |
| 9 Cr – Mo – V  | Todas          | 730 a 760                                |
| Inox série 300 | Todas          | NA                                       |

## Notas

1. Para certas aplicações em ambientes corrosivos, o tratamento térmico é aplicado em todas as espessuras.

2. Para diâmetros grandes de tubulações e teores maiores que 0,15%C às vezes é aplicado

3. Para se conseguir atingir determinados valores de dureza e de propriedades mecânicas, o tempo e temperatura de patamar podem ser modificados.

Muitas normas de fabricação estabelecem o tempo de patamar como 1 hora / 25 mm, com no mínimo de 15 minutos, que é um tempo suficiente para aliviar as tensões residuais, porém quando se necessita também de uma melhor resistência corrosão o tempo mínimo usualmente aplicado é de 2 horas. [2]

Acima de 315°C a taxa de aquecimento e resfriamento deve ser no máximo de 315°C/h, porém para aços com teores superiores a 3%Cr – Mo um resfriamento mais lento pode ser desejável para se atingir valores específicos de dureza, por isso recomenda-se utilizar valores indicados na qualificação do procedimento de soldagem [2, 6].

Tratamento térmico localizado com uso de resistência elétrica é autorizado desde que equipamento promova um aquecimento uniforme em todo o contorno da junta, porém deve-se observar que aquecimentos locais promovem expansões que podem introduzir tensões prejudicando permanentemente o

sistema. Devem-se utilizar termopares que registrem e monitorem as temperaturas durante todo o tratamento térmico. Após a realização do tratamento térmico a dureza deve ser medida na solda e também na ZAC com um instrumento adequado [2]

#### *2.2.2.4 TRINCAS A FRIO*

Os aços Cr-Mo estão sujeitos a todos os defeitos específicos de cada processo de soldagem, porém especificamente o principal defeito característico deste material é a trinca a frio que é descrita a seguir.

Esse tipo de trinca induzida pelo hidrogênio ocorre abaixo 93°C, logo após a soldagem durante o resfriamento ou varias horas após término da soldagem. Durante a soldagem o hidrogênio pode estar presente em consumíveis, gases de proteção, atmosfera, óxidos e sujeiras. Ele dissocia-se devido ao arco elétrico e é facilmente absorvido pela poça de fusão. Após a solidificação do metal fundido, o hidrogênio possui uma característica e se difundir muito bem quando a microestrutura do material está na fase austenítica, porém quando a temperatura diminui e a microestrutura passa para a fase ferrítica, bainítica ou martensítica, a mobilidade do hidrogênio diminui ficando concentrado em regiões tensionadas e defeitos, propiciando a fissuração [12].

Na prática os meios de controle de fissuração estão baseados em diminuir a quantidade de hidrogênio introduzido no material durante a soldagem, diminuir a dureza da ZAC que uma região muito susceptível devido à diminuição das propriedades mecânicas. A dureza da ZAC está relacionada com a velocidade de resfriamento, ou seja, quanto maior a velocidade de

resfriamento, maior a possibilidade de formação de microconstituintes duros e frágeis. Sendo assim quanto mais espessa for a peça, maior será a velocidade de resfriamento e conseqüentemente a aumentará a possibilidade de ocorrer trincas a frio. Devido a isso o pré-aquecimento deve ser aplicado para diminuir a velocidade de resfriamento da soldagem [12].

## 2.2. TUBO ASTM A335 Gr P11

A norma ASTM A335/A335M estabelece os critérios, propriedades químicas, mecânicas e dimensionais para a fabricação tubos sem costura de aços liga ferríticos para serviços em alta temperatura, um dos materiais classificados por esta norma é o ASTM A335 Gr P11 com designação UNS K11597 enquadrado como um aço baixa liga do tipo 1¼Cr – Mo e Pnº 4 conforme ASME IX [3], é aplicado para serviços em temperaturas Contínuas de até 560°C, sendo muito utilizado na construção de caldeiras e linhas de vapor, as tabelas 2.7 a 2.10 indicam as propriedades químicas e mecânicas para este material [1, 13].

**Tabela 2.7** – Composição química do material ASTM A335 Gr P11 [1]

| %C             | %Mn            | %P         | %S         | %Si            | %Cr            | %Mo            |
|----------------|----------------|------------|------------|----------------|----------------|----------------|
| 0,05 a<br>0,15 | 0,30 a<br>0,60 | 0,025 Max. | 0,025 Max. | 0,50 a<br>1,00 | 1,00 a<br>1,50 | 0,44 a<br>0,65 |

**Tabela 2.8** – Propriedades mecânicas na temperatura ambiente do material ASTM A335 Gr P11 na condição normalizada e recozida [1]

| Limite de escoamento<br>(MPa) | Limite de resistência<br>à tração<br>(MPa) | Alongamento mínimo em 50 mm       |                                   |
|-------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
|                               |                                            | Longitudinal (%)                  | Transversal (%)                   |
| 205                           | 415                                        | 30 <sup>1</sup> / 22 <sup>2</sup> | 20 <sup>1</sup> / 14 <sup>2</sup> |

Notas

1. Para ensaio com corpos de prova retangulares com espessuras  $\geq 8,0$  mm

2. Para ensaio com corpos de prova cilíndricos

**Tabela 2.9** – Propriedades físicas do material ASTM A335 Gr P11 [13]

| Densidade a 20 °C (kg/dm³) | Modulo de Elasticidade (KN/mm²) nas temperaturas de: |        |        |        | Condutividade térmica a 20 °C | Capacidade térmica específica a 20 °C | Resistividade elétrica específica a 20 °C |
|----------------------------|------------------------------------------------------|--------|--------|--------|-------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------|
|                            | 20 °C                                                | 300 °C | 400 °C | 500 °C | (W/m K)                       | (J/kg K)                              | (Ω mm²/m)                                 |
| 7,76                       | 210                                                  | 185    | 175    | 165    | 33                            | 622                                   | 0,24                                      |

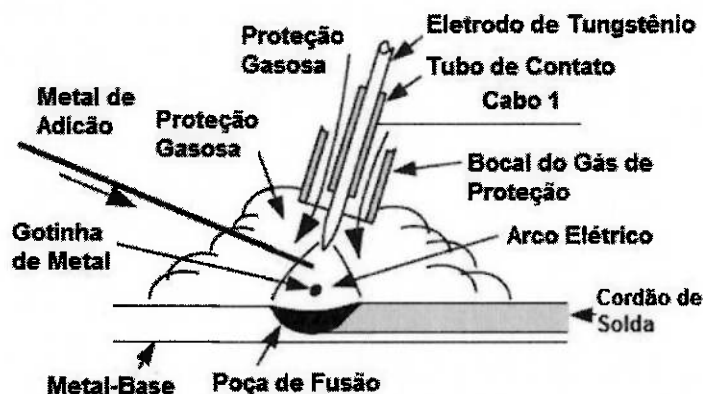
**Tabela 2.10** – Temperaturas de conformação e tratamento térmico do material ASTM A335 Gr P11 [13]

| Conformação a Quente |                      | Tratamento Térmico (Temperado e revenido), microestrutura. |              |                       |
|----------------------|----------------------|------------------------------------------------------------|--------------|-----------------------|
| Temperatura °C       | Tipo de resfriamento | Austenitização                                             | Recozimento  | Microestrutura        |
| 1100 - 950           | Ar                   | 920 - 980 °C                                               | 680 - 760 °C | Bainítica / Ferrítica |

## 2.3. PROCESSO DE SOLDAGEM TIG

### 2.2.3 FUNDAMENTOS DO PROCESSO

O processo de soldagem TIG também conhecido pela sigla GTAW (Gas Tungsten Arc Welding), trata-se de um arco elétrico produzido entre a peça e um eletrodo não consumível de tungstênio, este arco elétrico é mantido através de uma coluna de gás inerte ionizado que forma uma poça de fusão bem controlada. A soldagem pode ou não ser realizada com a adição de consumível, o que o torna especialmente adequado para soldagem de materiais especiais, principalmente os não ferrosos, ou soldagens em que é necessário um bom acabamento na raiz, como em indústrias farmacêuticas, alimentícias, ou de petróleo. Normalmente é operado manualmente, mas já existem muitos desenvolvimentos de automatização do processo TIG. A figura 2.1 ilustra um esquema básico para a soldagem TIG [14, 15, 21].



**Figura 2.1** – Esquema básico da soldagem TIG [21]

## 2.2.4 HISTÓRICO

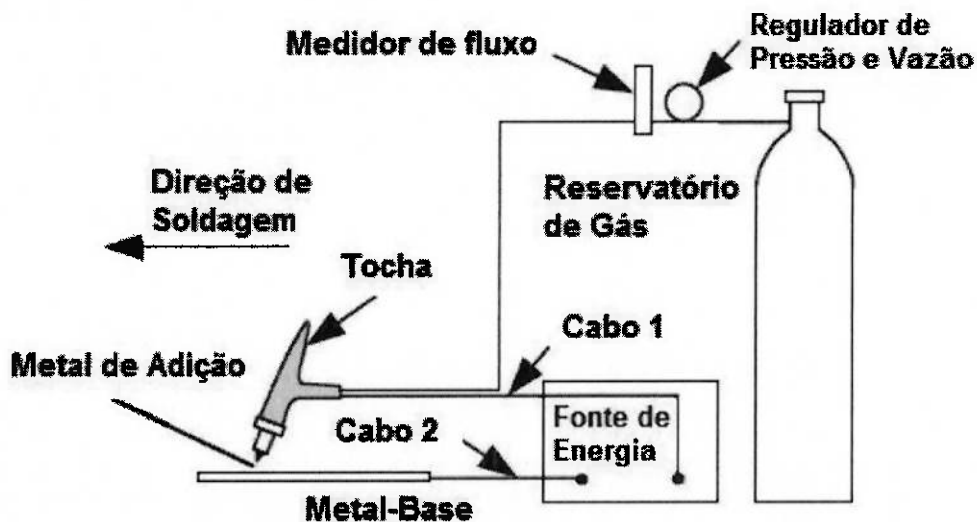
Primeiro desenvolvimento comercial do processo TIG ocorreu na indústria aeronáutica em 1941, foi realizado por Russell Meredith e Vladimir Henry Pavlecka. Eles desenvolveram a primeira tocha com um bocal de metal utilizando gás hélio para a proteção do eletrodo, poça de fusão e áreas adjacentes aquecidas da peça para a soldagem de magnésio e suas ligas. No início o processo de soldagem foi chamado de "Heli-Arc" e patenteado em 1942 por Russell Meredith conforme verificado no ANEXO I [15].

## 2.2.5 EQUIPAMENTOS

Um conjunto montado para a soldagem no processo TIG é composto por:

- Fonte de energia (máquina de solda)
- Tocha de soldagem
- Cabos elétricos
- Mangueiras de gás
- Mangueiras e sistema de refrigeração (opcional)
- Gás de proteção
- Eletrodo de tungstênio
- Consumível de soldagem
- Sistema de geração de alta frequência (opcional)
- Regulador de vazão / pressão

A figura 2.2 ilustra uma montagem básica dos equipamentos para a soldagem TIG.



**Figura 2.2** – Equipamentos para soldagem TIG [22]

### 2.2.6 FONTES DE ENERGIA

O arco elétrico pode ser iniciado através do contato direto entre o eletrodo de tungstênio e a peça ou por um arco ignitor de alta frequência que ioniza o gás inerte fazendo com que ele conduza eletricidade e iniciando o arco elétrico. Para a soldagem em corrente Contínua, a alta frequência é desligada após o início do arco elétrico, para soldagem em corrente alternada a alta frequência é mantida durante toda a soldagem, principalmente para o material alumínio [15].

Para finalizar o arco elétrico o arco pode ser desligado através de comandos instalados na tocha ou em pedalou afastando a tocha da peça a ser soldada, o que pode gerar defeitos devido à ação da atmosfera nas regiões aquecidas e sem proteção do gás inerte [15].

As fontes para soldagem no processo TIG são do tipo corrente constante, podendo ser em corrente Contínua ou alternada. Quando utilizado

corrente Contínua dependendo do polo em que o eletrodo é ligado, podemos ter os seguintes tipos de polaridades [15]:

**Polaridade direta (CC-):** é o modo mais comum utilizado onde o eletrodo de tungstênio é conectado no polo negativo da máquina de solda, o fluxo de elétrons parte do eletrodo para a peça fazendo com que a concentração de calor seja maior na peça, melhorando a fusão e a penetração na figura 2.3 é ilustrado este fluxo de elétrons, a distribuição do calor e a penetração [15].

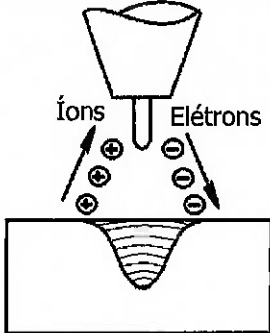
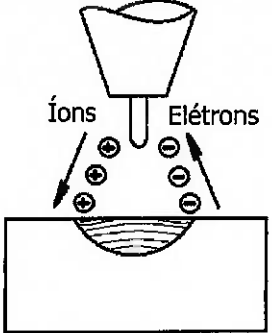
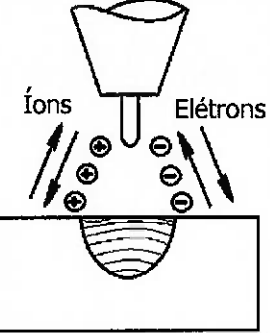
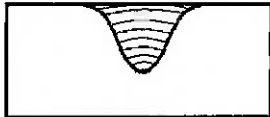
**Polaridade Inversa (CC+):** quando o eletrodo de tungstênio é conectado no terminal positivo da máquina de solda e o fluxo de elétrons parte da peça para o eletrodo, o que provoca um aquecimento maior no polo positivo do circuito fazendo o eletrodo se deteriorar mais rapidamente, a proporção da capacidade do eletrodo conectado no polo positivo para o negativo é de 1/10. Este tipo de soldagem é aplicado nas ligas de alumínio e magnésio porque ocorre uma ação de limpeza catódica na peça, remoção de óxidos da superfície. A penetração da soldagem não é profunda e o cordão é mais largo, por isso também se aplica para soldagem de espessuras finas [15].

**Corrente Alternada:** o polo positivo e negativo do circuito se alterna periodicamente, fazendo com que a soldagem tenha características agregadas das polaridades direta e inversa. O equipamento de soldagem necessita de um meio de manter contínuo para manter o arco estável, por isso estes equipamentos trabalham em conjunto com geradores de alta frequência.

Máquinas de soldas modernas já possuem sistemas de controle dos ciclos, que permitem determinar os tempos em que o fluxo de elétrons parte do

eletrodo para a peça e vice-versa. Agindo no controle da temperatura eletrodo e peça, e na ação de limpeza catódica, processo muito utilizado para a soldagem de alumínio e suas ligas.

A figura 2.3 ilustra esquematicamente as características de cada tipo de corrente.

| Tipo de corrente                             | CC                                                                                | CC                                                                                | CA                                                                                 |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Polaridade                                   | Direta                                                                            | Inversa                                                                           | -                                                                                  |
| Fluxo de íons e Elétrons                     |  |  |  |
| Características da penetração                |  |  |  |
| Ação de limpeza do óxido                     | Não                                                                               | Sim                                                                               | Sim a cada meio ciclo                                                              |
| Divisão aproximada do calor no arco elétrico | 70% peça<br>30% eletrodo                                                          | 30% peça<br>70% eletrodo                                                          | 50% peça<br>50% eletrodo                                                           |
| Penetração                                   | Profunda e estreita                                                               | Rasa e larga                                                                      | Média                                                                              |
| Capacidade do eletrodo                       | Excelente<br>Ex. $\phi$ 3,2 mm – 400A                                             | Ruim<br>Ex. $\phi$ 6,4 mm – 120A                                                  | Boa<br>Ex. $\phi$ 3,2 mm – 225A                                                    |

**Figura 2.3** – Características da polaridade para soldagem TIG [15]

### 2.2.7 ELETRODOS DE TUNGSTÊNIO

Os eletrodos de tungstênio são utilizados na soldagem TIG devido ao seu alto ponto de fusão ( $3392^{\circ}\text{C}$ ) e ótimas características de emissividade eletrônica, os eletrodos são fabricados através de sinterização de pós de tungstênio puro e / ou ligados aos óxidos de tório ou zircônio, que tem a função de aumentar a emissividade eletrônica, estabilizar o arco e aumentar a durabilidade do eletrodo. Dependendo do tipo de óxido e a quantidade a que o tungstênio é ligado, a norma ASME II parte C SFA-5.12/SFA-5.12M [16], relaciona a classificação do eletrodo a um sistema de cor que é pintada na ponta do eletrodo.

Na tabela 2.11 é descrito a composição química e coloração dos eletrodos de tungstênio mais usuais. [14]

**Tabela 2.11** – Composição química dos eletrodos de tungstênio [16]

| Classificação | Óxido                                 |             | Impureza | Tungstênio | Cor      |
|---------------|---------------------------------------|-------------|----------|------------|----------|
|               | Tipo                                  | Composição  |          |            |          |
| EWP           | NA                                    | NA          | 0,5 max. | 99,5 max.  | Verde    |
| EWTh-1        | ThO <sub>2</sub><br>Óxido de tório    | 0,8 a 1,2   | 0,5 max. | Balanço    | Amarelo  |
| EWTh-2        | ThO <sub>2</sub><br>Óxido de tório    | 1,7 a 2,2   | 0,5 max. | Balanço    | Vermelho |
| EWZr-1        | ZrO <sub>2</sub><br>Óxido de zircônio | 0,15 a 0,50 | 0,5 max. | Balanço    | Marrom   |

De acordo com o tipo de corrente e polaridade em que o eletrodo de tungstênio é utilizado ocorre uma deterioração maior ou menor, fazendo com que o eletrodo tenha uma faixa de aplicação corrente de acordo com o diâmetro, a tabela 2.12 estabelece estas faixas de correntes que podem ser aplicados para os eletrodos mais utilizados.

**Tabela 2.12** – Faixas de correntes para eletrodos de tungstênio [16]

| Diâmetro (mm) | Polaridade direta (CC-) |            | Polaridade inversa (CC+) |            | Corrente Alternada (CA) |            |
|---------------|-------------------------|------------|--------------------------|------------|-------------------------|------------|
|               | EWP (A)                 | EWTh-2 (A) | EWP (A)                  | EWTh-2 (A) | EWP (A)                 | EWTh-2 (A) |
| 1,5           | 60 a 150                | 60 a 150   | 10 a 20                  | 10 a 20    | 45 a 90                 | 60 a 125   |
| 2,4           | 120 a 220               | 150 a 250  | 15 a 30                  | 15 a 30    | 180 a 140               | 120 a 210  |
| 3,2           | 160 a 310               | 225 a 230  | 20 a 35                  | 20 a 35    | 150 a 190               | 150 a 250  |

## 2.2.8 GASES DE PROTEÇÃO

Os gases inertes como argônio e hélio e suas misturas são utilizados para a soldagem no processo TIG tem as seguintes funções:

- Formar e estabilizar o arco elétrico;
- Proteger a poça de fusão dos contaminantes atmosféricos O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>.
- Proteger eletrodo de tungstênio da oxidação

O argônio é o gás mais utilizado para aplicações gerais para a soldagem no processo TIG devido ao seu menor custo comparado com gás hélio, alta densidade relativa, estabilidade de arco, profundidade de penetração satisfatória. Porém quando se necessita de maior aporte térmico como na

soldagem do alumínio e suas ligas, cobre e suas ligas e grandes espessuras mesmo que aço carbono é recomendado à utilização do gás hélio ou misturas de argônio com hélio. [14]

O gás hélio apresenta melhores resultados na penetração da soldagem em relação ao argônio, porém ele não é muito utilizado devido ao seu maior custo, além do que a baixa densidade do gás faz vazão aplicada ser maior do que em relação ao argônio. Sendo assim misturas de argônio e hélio apresentam características similares a dos dois gases e podem ser mais viáveis economicamente.

O hidrogênio, apesar de ser um gás ativo, tem característica redutora podendo ser adicionado ao argônio em pequenas quantidades (menor que 5%) a fim de aumentar a penetração de solda e a velocidade na soldagem automatizada de aços inoxidáveis, mas em hipótese alguma pode ser usado na soldagem dos aços carbono e aços Cr - Mo [14]

## **2.2.9 PARÂMETROS DE SOLDAGEM**

### **2.2.9.1 CORRENTE ELÉTRICA**

A principal influência da corrente elétrica está no controle da penetração do cordão de solda, ou seja, para um mesmo material e uma mesma velocidade de soldagem quanto maior a corrente maior será a penetração.

#### ***2.2.9.2 DISTÂNCIA ENTRE O ELETRODO E A PEÇA***

Esta variável influencia principalmente na largura do cordão de solda e na estabilidade do arco, quanto mais distante o eletrodo da peça maior a largura do cordão e maior a dificuldade em manter o arco estável. O ideal é que esta distância permaneça entre 3 a 5 mm.

#### ***2.2.9.3 VELOCIDADE DE SOLDAGEM***

Esta variável também influencia diretamente na penetração de solda, quanto maior a velocidade menor a penetração, ou seja, para uma velocidade de soldagem muito alta de soldagem, o arco não permanece tempo suficiente na região de solda para proporcionar uma boa fusão e penetração do cordão. Quando a velocidade de soldagem é muito baixa, a penetração aumenta, mas se for excessivamente baixa, o próprio metal fundido da poça de fusão começa a funcionar como isolante térmico para a transferência de calor do arco para o metal base, prejudicando também a penetração de solda [14].

#### ***2.2.9.4 INCLINAÇÃO DA TOCHA***

Esta é outra variável que tem influência sobre a penetração de solda. Soldando-se com inclinação positiva (puxando), o arco elétrico atua diretamente sobre a poça de metal já fundido, aumentando a penetração. Já quando a inclinação é no sentido negativo, no sentido negativo (empurrando), o arco elétrico permanece sobre o metal de base mais frio, reduzindo a penetração da solda [14].

#### 2.2.9.5 VAZÃO DE GÁS

A vazão do gás é responsável pela proteção adequada do eletrodo e da poça de fusão garantindo soldas isentas de oxidação e porosidade. Seu valor ideal depende de diversos fatores como o metal de base, condições de ventilação do ambiente e da corrente de soldagem utilizado. Logicamente, em função destes fatores, quanto menor o seu valor maior a economia de gás no processo de soldagem.

#### 2.2.10 APLICAÇÕES E LIMITAÇÕES

O processo de soldagem TIG é aplicado principalmente na soldagem de tubulações em geral e de chapas finas (0,2 a 3,0 mm). Os metais base a serem soldados podem ser aços carbono, aços inoxidáveis, alumínio e suas ligas, cobre e suas ligas e titânio. O processo de soldagem é aplicado onde há requisitos de propriedades mecânicas ou acabamento principalmente na raiz.

Este processo caracteriza-se por ter uma baixa taxa de deposição na soldagem manual (1,3 kg/hora máximo), a soldagem pode ser executada em todas as posições, pode ser aplicado para praticamente todos os metais industrialmente utilizados, gera pequena quantidade de fumos, aplicável a espessuras a partir 0,2 mm, os soldadores devem ser altamente treinados e qualificados, em alguns casos pode ser aplicado sem adição de consumível (solda autógena), processo muito empregado na soldagem do passe de raiz em tubulações, produz soldas com ótimas propriedades mecânicas, o acabamento da solda é ótimo, e o processo pode ser automatizado. [14].

## **2.4. PROJETO E PREPARAÇÃO DE JUNTA**

As juntas para soldagem devem ser projetadas primeiramente para resistir à carga e esforços de trabalho, porém algumas variáveis de projeto e formato podem afetar substancialmente e aumentar custo da soldagem. Para melhor definição o seguinte guia se aplica [17]

- Deve-se optar pelo menor volume de soldagem aplicado;
  - Entretanto para chanfros retos e juntas com penetração parcial, devem ser aplicados somente quando satisfazem requisitos resistência mecânica e de aplicação em serviço ;
  - Juntas sobrepostas e em ângulo podem somente substituir juntas de topo quando não houver necessidade de resistência à fadiga;
  - Juntas do tipo duplo V ou U devem ser aplicados quando a espessura for grande para diminuir a quantidade de consumível depositado e reduzir / controlar as distorções;
  - Para soldas em ângulo em grandes espessuras deve-se chanfrar o membro da alma para evitar trincas lamelares;
  - O projeto e montagem da junta deve permitir acesso para a soldagem
- [17]

Para a soldagem de tubulações onde ocorrem junções do tipo:

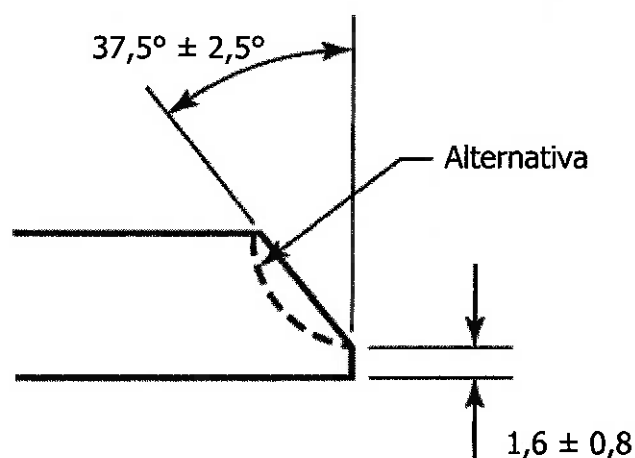
- Tubo com tubo;
- Tubo com flanges;
- Tubo com válvulas;
- Tubo com conexões.

O tipo de junta mais aplicado é a de topo circular. Que é o melhor do ponto de vista distribuição tensões. Juntas em ângulo são somente aplicados em diâmetros menores que 2" [18].

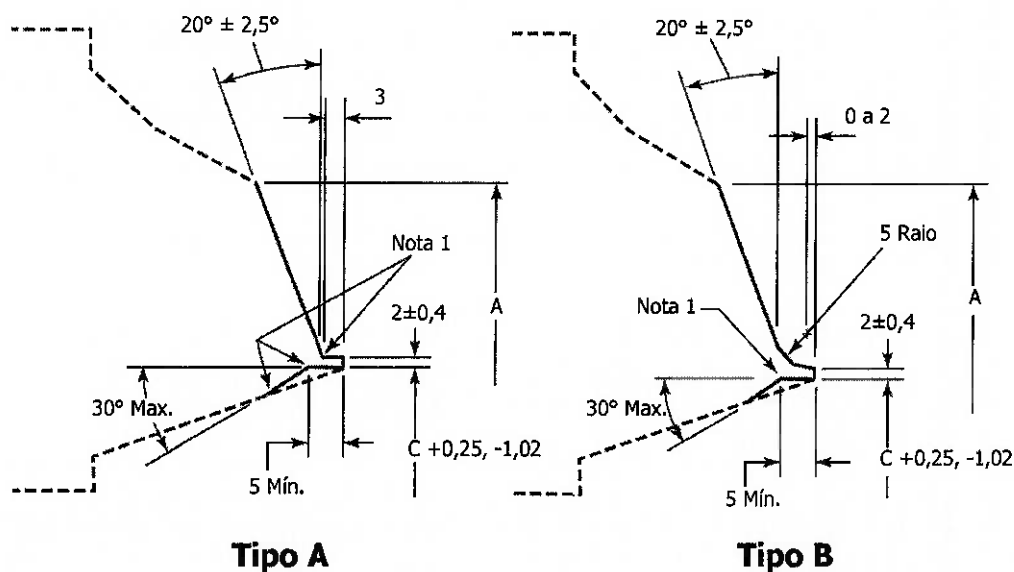
A norma ASME B16.25 estabelece critérios para dimensões de preparação de juntas de topo de tubulações, que devem principalmente [2,19]:

- a) Evitar entalhes que propiciem concentração de tensão;
- b) Cantos vivos;
- c) Mudanças bruscas de espessuras e formatos.

Como o processo TIG é o mais aplicado para a soldagem do passe de raiz as figuras 2.4 e 2.5 ilustram dimensões recomendadas para preparação do chanfro de acordo com a espessura do tubo ou componente conforme norma ASME B16.25.



**Figura 2.4** – Dimensões do chanfro para soldagem TIG no passe de raiz em tubulações com espessura maiores que 3,0 até 10,0 mm [19].



#### Notas gerais

Letras A e C nas ilustrações variam de acordo com o diâmetro nominal e espessura da tubulação, consultar Tabela 1 da norma ASME B16.25 para detalhes específicos. Exemplo: para uma junção tubo com tubo Ø 6" sch 80 (Esp.10,97 mm) temos, A = 168,3 mm e C = 148,06 mm

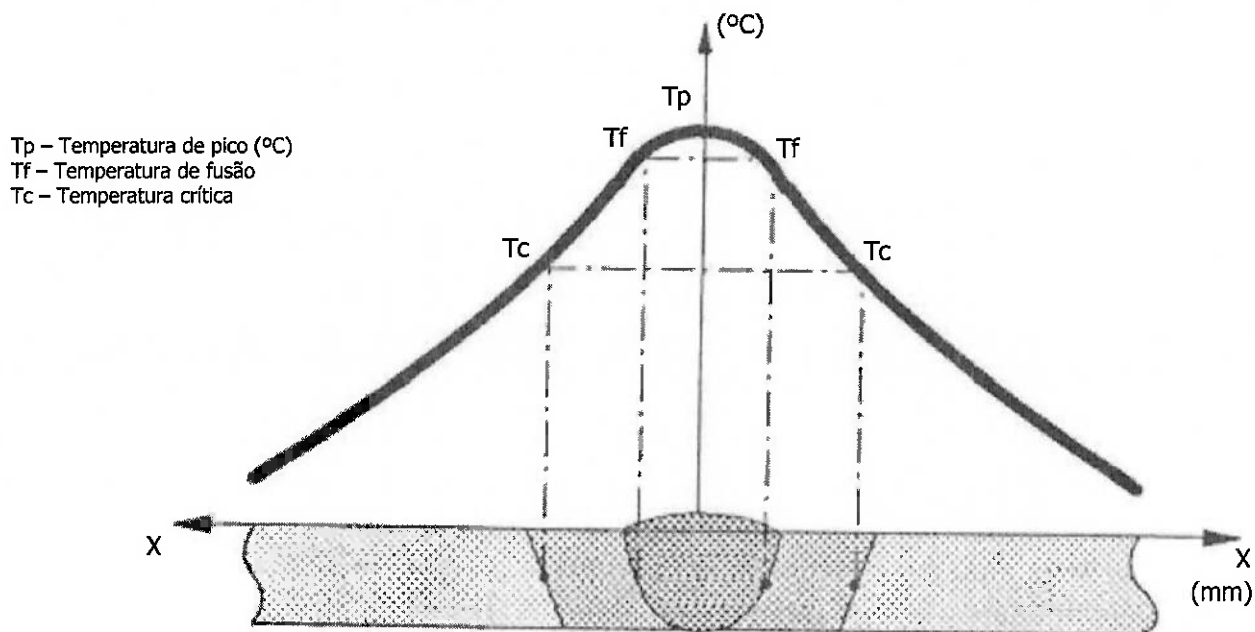
#### Nota:

1. Cantos devem ser ligeiramente arredondados

**Figura 2.5** – Dimensões do chanfro para soldagem TIG no passe de raiz em tubulações com espessura maiores que 10,0 até 25,0 mm [19].

## 2.5. REGIÕES DA JUNTA SOLDADA

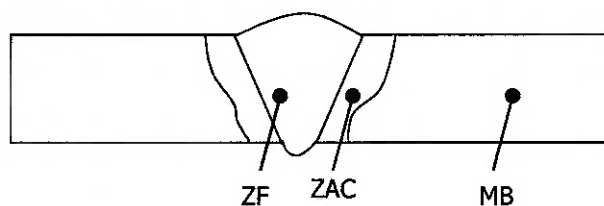
O processo de soldagem provoca um aquecimento localizado, o calor gerado faz com que ocorra um gradiente térmico a partir da solda, sendo que quanto mais próximo da poça de fusão maior é a temperatura, se considerar um corte transversal à soldagem e comparar com as temperaturas durante a soldagem em um determinado instante é possível construir gráfico de repartição térmica conforme demonstrado na figura 2.6 [10].



**Figura 2.6** – Repartição térmica de uma soldagem [10].

Para os aços estas diferenças de temperaturas associadas à velocidade de resfriamento, provocam transformações microestruturais nas regiões onde a temperatura foi maior que a temperatura crítica ( $T_c$ ), estas regiões são austenitizadas e o resultado da microestrutura estará relacionada com a composição química do aço e velocidade do resfriamento.

As regiões de uma junta soldada são demonstradas conforme figura 2.7 e descritas a seguir.



**Figura 2.7** – Regiões de uma junta soldada

**Zona fundida (ZF)** – região onde ocorreu a fusão do metal de base e ou consumível durante a soldagem com posterior solidificação

**Zona afetada pelo calor (ZAC)** – região em que não ocorreu a fusão no metal base e as temperaturas ficaram acima da temperatura crítica ( $T_c$ ) promovendo modificações microestruturais e uma relativa diminuição das propriedades mecânicas e químicas em comparação com o metal base.

**Metal base (MB)** – região não afetada pelo calor e as propriedades do material não foram alteradas

### **3. OBJETIVOS**

Analisar a influência da face da raiz na soldagem de tubos do material ASTM A335 Gr P11, soldado no processo TIG por meio dos seguintes objetivos secundários:

- Avaliar a influência da dureza (HV) nas duas soldagens por meio de comparação de resultados obtidos através de ensaio realizado conforme norma Petrobras N133;
- Avaliar as dimensões da solda (altura de reforço e profundidade de penetração) por meio ensaio de realizado em 4 amostras macrográficas de cada CP e comparar resultados;
- Avaliar a influência na produtividade comparando os tempos de arco aberto e tempos totais de soldagem;
- Avaliar a quantidade de consumível depositado e comparar com a quantidade de consumível calculada;
- Avaliar a influência no tamanho da ZAC por meio de ensaio de macrografia e comparar resultados.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. MATERIAIS

#### 4.1.1. METAL BASE

Para a realização deste experimento foi utilizado o tubo ASTM A335 Gr P11 diâmetro 6" sch 80 (esp. 10,97 mm), fabricado pela empresa V&M do Brasil, conforme certificado do ANEXO II. Os resultados encontrados de análise química e resistência à tração foram comparados com os critérios estabelecidos na norma ASTM A335/A335M [1], conforme descrito nas tabelas 4.1 e 4.2 os valores encontrados atendem aos requisitos da norma.

**Tabela 4.1** – Análise da composição química do tubo ASTM A335 Gr P11

| Especificado | %C          | %Mn         | %P         | %S         | %Si         | %Cr         | %Mo         |
|--------------|-------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|
|              | 0,05 a 0,15 | 0,30 a 0,60 | 0,025 Max. | 0,025 Max. | 0,50 a 1,00 | 1,00 a 1,50 | 0,44 a 0,65 |
| Encontrado   | 0,11        | 0,42        | 0,15       | 0,02       | 0,57        | 1,06        | 0,45        |

**Tabela 4.2** – Análise da resistência à tração do tubo ASTM A335 Gr P11

| Especificado | Limite de escoamento (MPa) | Limite de resistência à tração (MPa) | Alongamento mínimo em 50 mm |
|--------------|----------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
|              |                            |                                      | Longitudinal (%)            |
|              | 205                        | 415                                  | 30                          |
| Encontrado   | 301                        | 487                                  | 40                          |

#### 4.1.2. METAL DE ADIÇÃO

Metal de adição utilizado na soldagem do corpo de prova foi a vareta TIG classificada pela norma ASME II parte C SFA 5.28 [20] como ER 80S-B2 (ER – Electrode Rod, 80 – 80 KSi = 550 MPa, S – Solid, B2 – Cr-Mo), fabricado pela empresa Böhler Welding, com a marca comercial BOEHLER DCMS-IG-B e diâmetro de 3,2 mm conforme verificado no ANEXO III. Comparando os resultados de análise química e de resistência à tração com os valores especificados pela norma ASME II parte C SFA 5.28, conforme descrito nas tabelas 4.3 e 4.4, verifica-se que os resultados atendem aos requisitos da norma.

**Tabela 4.3 – Análise da composição química do consumível ER80S-B2**

| Especificado | %C          | %Mn         | %P         | %S         | %Si         | %Cr         | %Mo         |
|--------------|-------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|
|              | 0,07 a 0,12 | 0,40 a 0,70 | 0,025 Max. | 0,025 Max. | 0,40 a 0,70 | 1,20 a 1,50 | 0,40 a 0,65 |
| Encontrado   | 0,10        | 0,48        | 0,007      | 0,010      | 0,44        | 1,29        | 0,46        |

**Tabela 4.4 – Análise da resistência à tração do tubo ASTM A335 Gr P11**

| Especificado | Limite de escoamento (MPa) | Limite de resistência à tração (MPa) | Alongamento mínimo (%) |
|--------------|----------------------------|--------------------------------------|------------------------|
|              | 470                        | 550                                  | 19                     |
| Encontrado   | 470                        | 550                                  | 19                     |

#### **4.1.3. OUTROS MATERIAIS UTILIZADOS**

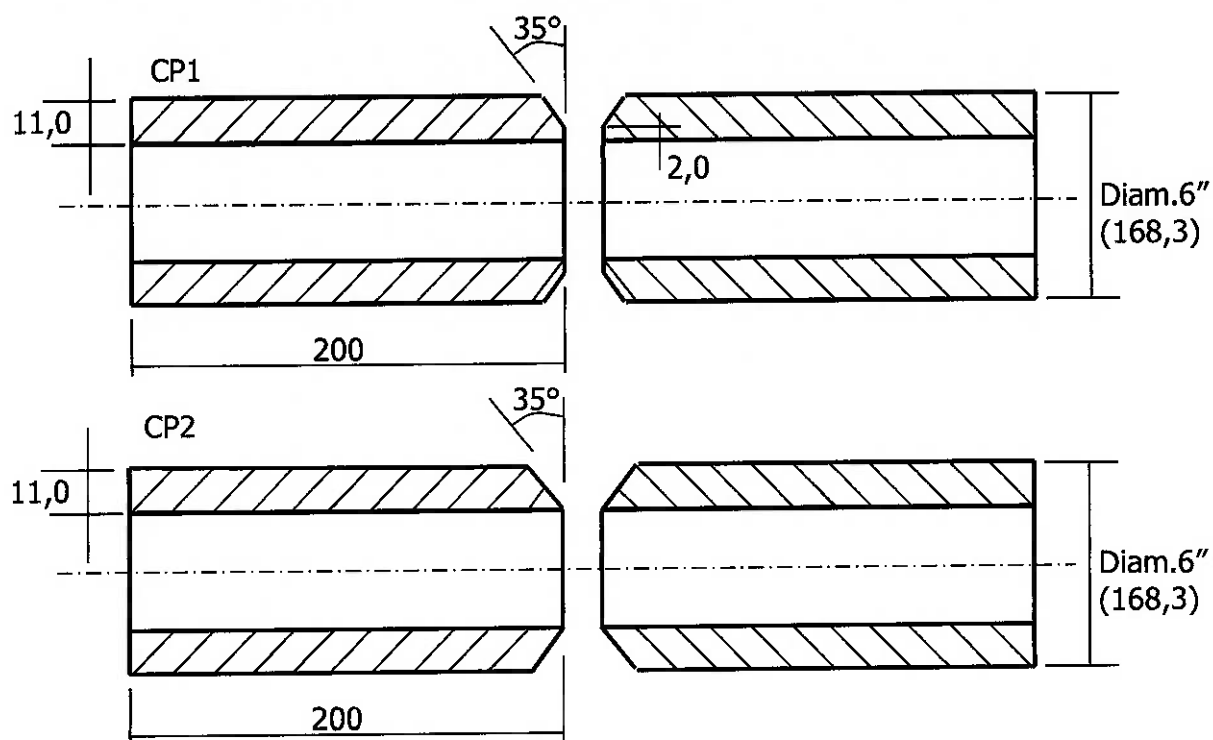
Para a realização do experimento foram utilizados diversos materiais, equipamentos e instrumentos de medição, sendo que os principais são listados abaixo.

- Um cilindro de gás Argônio Industrial (99,996% pureza) fabricado pela empresa White Martins conforme descrito no ANEXO IV;
- Dois eletrodos de tungstênio ASME II parte C SFA 5.14 EWTh-2 Ø 2,4 mm;
- Uma máquina de solda Lincoln V270S conforme catalogo do ANEXO V;
- Tocha para soldagem TIG sem alta frequência modelo HW26V fabricante Oximig do Sul;
- Uma mesa posicionadora de fabricação interna da empresa Montcalm;
- Instrumentos de medição Alicates Volt-Amperímetro, Paquímetro, Fluxômetro, Gabarito de solda FBTS, e Cronômetro digital;
- Uma esmerilhadeira manual de 4 1/2" e discos de corte e desbaste ;
- Uma Balança de precisão.

## 4.2. MÉTODOS

### 4.2.1. PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

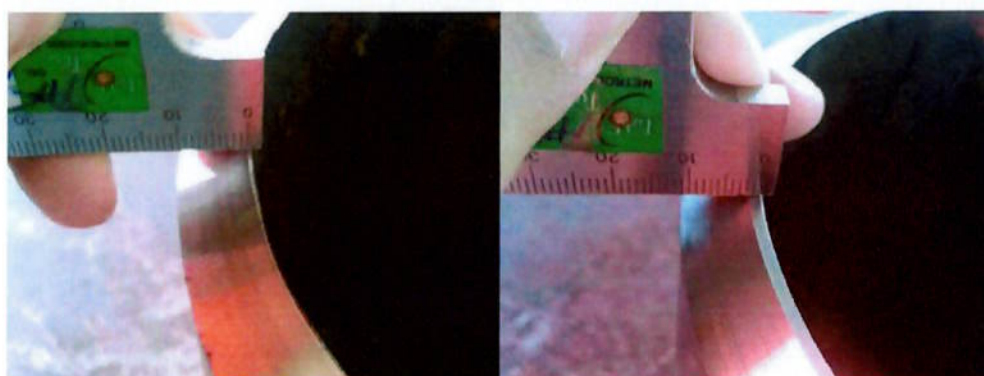
Foi estabelecida a identificação dos corpos de prova no material ASTM A335 Gr P11 como sendo que a referência CP1 é para corpo de prova com face de raiz de 2,0 mm, e a referência CP2 é para o corpo de prova sem face de raiz. Os dois corpos de prova foram cortados e o chanfro foi preparado por usinagem conforme dimensões da figura 4.1, 4.2 e 4.3.



**Figura 4.1** – Dimensões dos corpos de prova CP1 e CP2



**Figura 4.2** – Detalhe do ângulo do chanfro



**Figura 4.3** – Detalhe da preparação da face da raiz 0 mm e 2 mm respectivamente

#### **4.2.2. SOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA**

Os corpos de prova CP1 e CP2 foram soldados no processo TIG na posição 1G – girando conforme ilustrado da figura 4.4. Os parâmetros de soldagem utilizados estão descritos nos acompanhamentos de soldagem do ANEXO VIII para CP1 e ANEXO IX para CP2.



**Figura 4.4** – Soldagem tubo ASTM A335 Gr P11 processo TIG posição 1G – girando

O processo de soldagem utilizado foi o TIG devido ao fato de ser uma soldagem em tubo não sendo possível correções e reparos na raiz, e também ao fato de que o processo TIG introduz baixos níveis de hidrogênio na soldagem.

A corrente de soldagem foi pré-estabelecida para ficar próxima de 150 a 160A para raiz; 170 a 180A para enchimento e 160 a 170A para acabamento, sendo os valores medidos de corrente (A), tensão (V), velocidade de soldagem (cm/min) e posterior cálculo da energia de soldagem ( $\epsilon$ ) (KJ/cm) são descritos na tabela 4.5 para CP1 e na tabela 4.6 para CP2.

A energia de soldagem foi calculada de acordo com a seguinte equação descrita na norma ASME IX

Onde:  
 $\epsilon$  – Energia (KJ/cm)  
V – Tensão (V)  
A – Corrente (A)  
VS – Velocidade de soldagem (cm/min)

$$\epsilon = \frac{V.A.60}{VS.1000}$$

**Tabela 4.5 – Parâmetros de soldagem CP1**

| Passe | Corrente (A) | Tensão (V) | Velocidade (cm/min) | Energia de soldagem (KJ/cm) |
|-------|--------------|------------|---------------------|-----------------------------|
| 1     | 165          | 12         | 5,3                 | 22                          |
| 2     | 173          | 15         | 6,5                 | 24                          |
| 3     | 185          | 15         | 6,0                 | 28                          |
| 4     | 185          | 15         | 8,7                 | 19                          |
| 5     | 185          | 15         | 6,8                 | 24                          |
| 6     | 178          | 15         | 7,6                 | 21                          |
| 7     | 167          | 14         | 7,0                 | 20                          |
| 8     | 167          | 14         | 7,4                 | 19                          |

**Tabela 4.6 – Parâmetros de soldagem CP2**

| Passe | Corrente (A) | Tensão (V) | Velocidade de soldagem (cm/min) | Energia de soldagem (KJ/cm) |
|-------|--------------|------------|---------------------------------|-----------------------------|
| 1     | 120          | 11         | 4,0                             | 20                          |
| 2     | 168          | 12         | 6,2                             | 20                          |
| 3     | 183          | 12         | 5,8                             | 23                          |
| 4     | 185          | 12         | 5,4                             | 25                          |
| 5     | 185          | 12         | 5,4                             | 25                          |
| 6     | 165          | 12         | 6,0                             | 20                          |
| 7     | 165          | 12         | 7,1                             | 17                          |

A norma AWS D10.8, que traz recomendações para soldagem dos aços Cr-Mo, estabelece que a temperatura de pré-aquecimento para a soldagem do material ASTM A335 Gr P11 deve ser de no mínimo 120°C, mas quando a soldagem for executada no processo TIG, esta temperatura pode ser diminuída mas não é estabelecido valor de quanto pode ser diminuído. Verificando em outras normas como ASME B31.1 e ASME B31.3, a temperatura mínima requerida de pré-aquecimento para este material de 120° a 150°C. Para verificar a ocorrência de trinca frio devido à temperatura de pré-aquecimento foi estabelecido que na soldagem dos corpos de prova não se aplicaria o pré-aquecimento.

As temperaturas de interpasse medidas durante a soldagem no CP1 foram de 25 a 126°C e no CP2 de 28 a 128°C.

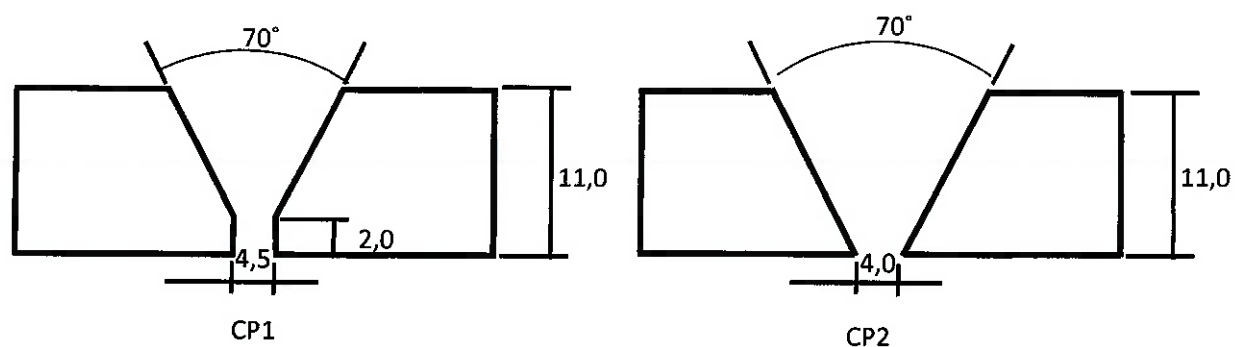
A abertura da raiz foi primeiramente estabelecida em 4,5 mm, sendo o CP1 soldado com esta abertura, porém quando se fez a montagem do CP2 com esta abertura de 4,5mm, e iniciado a soldagem da raiz no CP2, no qual não

existe face da raiz, não houve uma sustentação suficiente para a poça de metal fundido, ocorrendo perfurações conforme se verifica na figura 4.5



**Figura 4.5** – Perfuração ocorrida na soldagem CP2 abertura de raiz 4,5 mm

Sendo assim para a soldagem do CP2 foi necessário uma nova usinagem do chanfro e o CP2 foi montado com a abertura de raiz de 4,0mm, ficando as dimensões dos chanfros antes da soldagem dos CP1 e CP2 conforme a figura 4.6



**Figura 4.6** – Dimensões dos chanfros dos CP1 e CP2

As sobras das varetas utilizadas na soldagem dos CP1 e CP2 foram pesadas, para posterior comparação com a quantidade de consumível calculado teoricamente.

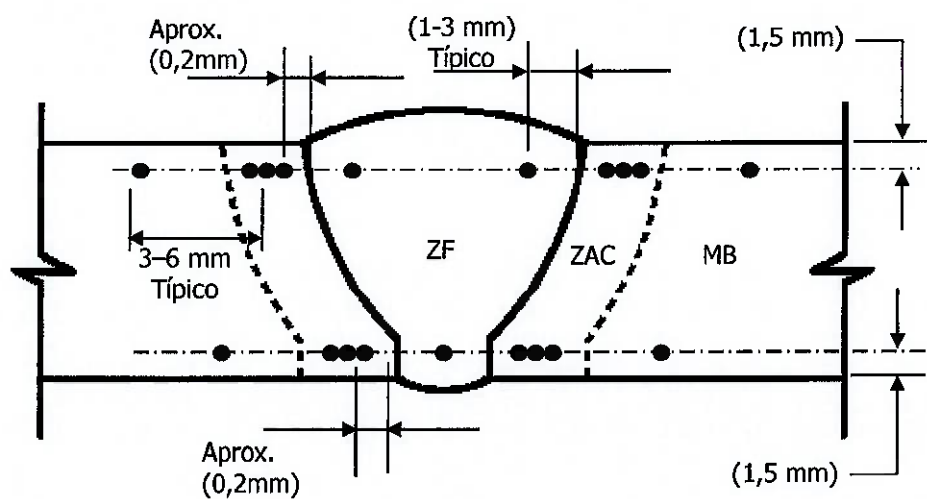
Os tempos de execução do serviço e de arco aberto, também foram medidos para realizar comparações de produtividade.

#### **4.2.3. INSPEÇÕES E ENSAIOS**

Após o término da soldagem os dois corpos de prova foram inspecionados visualmente conforme critérios da norma ASME IX, aprovados e enviados para ensaio de gamagrafia.

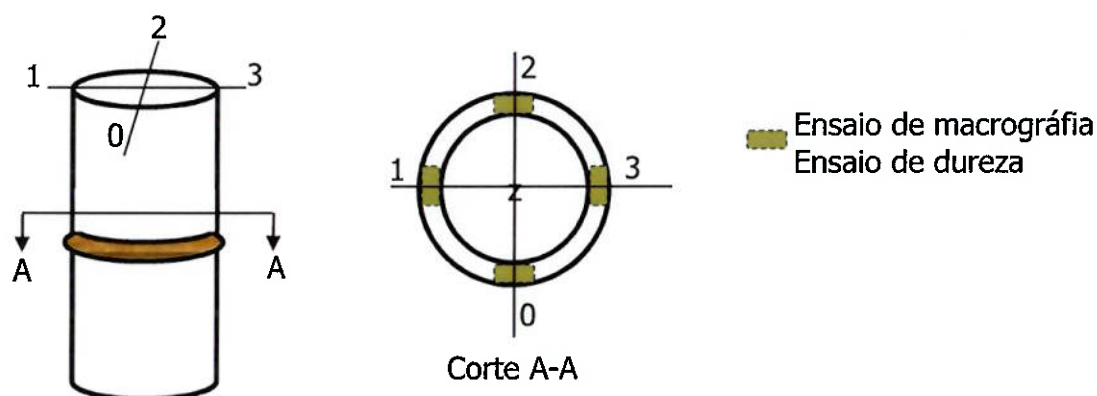
O ensaio de gamagrafia foi realizado no dia 14/02/13 na empresa Metaltec utilizando uma fonte de Irídio (Ir 192) com atividade de 25 Ci, e filme tipo II da marca Fuji. Os corpos de prova foram divididos em quadrantes e executado ensaio em cada um dos quadrantes, totalizando 4 filmes batidos para cada CP.

Após executado a ensaio de gamagrafia os CP foram enviados para o laboratório de ensaios mecânicos Teamlab, onde foram realizados os ensaios de macrografia conforme critérios da norma ASME IX e ensaio de dureza utilizando perfil da norma Petrobras N133 conforme figura 4.7.



**Figura 4.7** – Perfil de dureza para chanfro em V conforme Petrobras N133 K

Os locais de retirada das amostras para ensaios de macrografia e dureza foram mesmas utilizadas para identificação da gamagrafia ficando estabelecido para os dois CP às identificações 0, 1, 2,3 conforme figura 4.8.

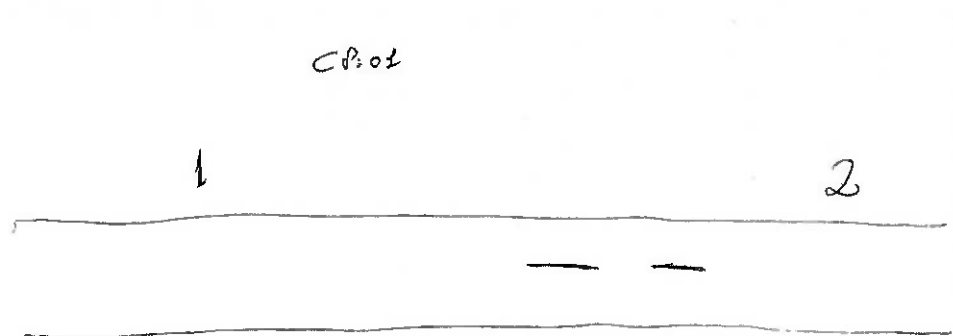


**Figura 4.8** – Local retirada dos corpos de prova macrografia e de dureza

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1. ENSAIO DE GAMAGRAFIA**

No ensaio de gamagrafia do CP1 foram encontradas as discontinuidades em dois filmes, um na posição 1-2 com mordedura de raiz conforme se observa na mascara da figura 5.1, e outro filme na posição 3-0 com um poro conforme mascara da figura 5.2.

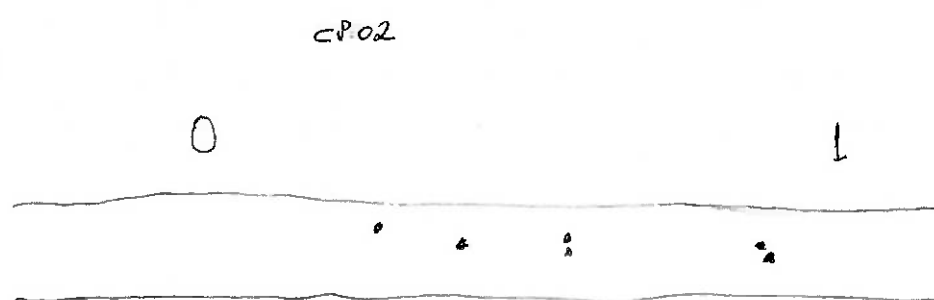


**Figura 5.1** – Mordedura de raiz CP1 posição 1-2.

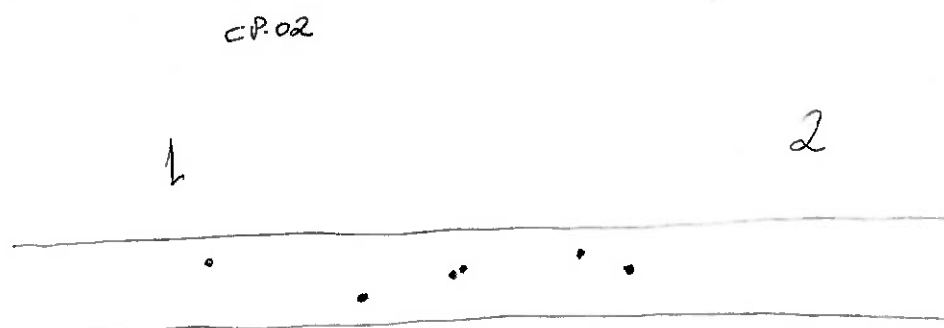


**Figura 5.2** – Poro CP1 posição 3-0.

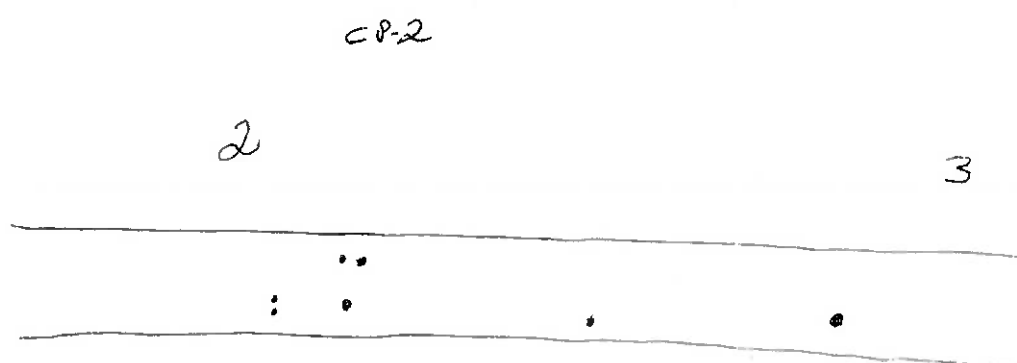
No CP2 ocorreram porosidades generalizadas em todo o cordão de solda, conforme se verifica nas 4 mascaras das figuras 5.3 a 5.6.



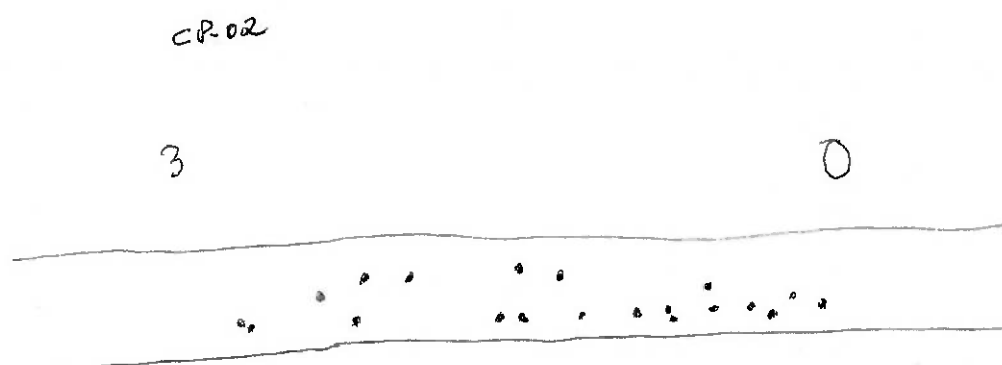
**Figura 5.3** – Porosidade CP2 posição 0-1.



**Figura 5.4** – Porosidade CP2 posição 1-2.



**Figura 5.5** – Porosidade CP2 posição 2-3.

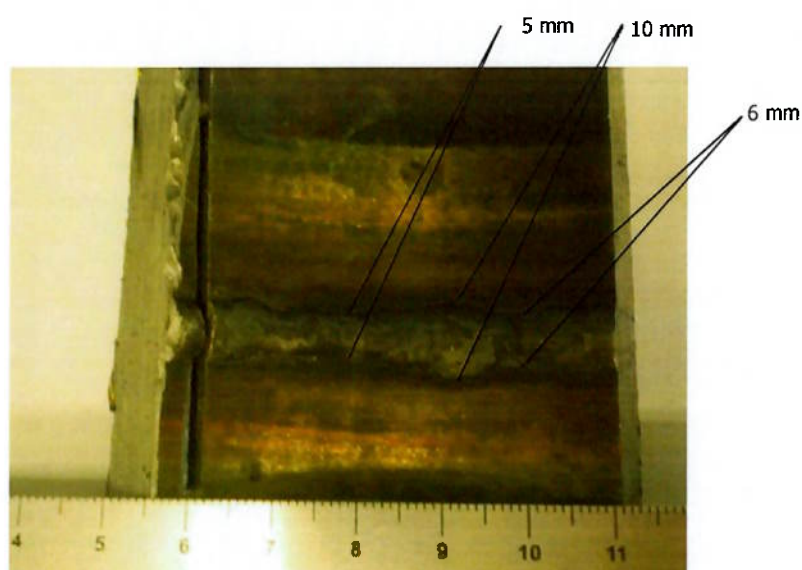


**Figura 5.6** – Porosidade CP2 posição 3-0.

Depois de verificado resultado da gamagrafia, o conjunto de mangueiras de gás do equipamento foi verificado e encontrado um vazamento em uma das conexões, fato que pode ter sido determinante para a geração de porosidades.

Mesmo com estas descontinuidades os corpos de prova foram aprovados conforme critérios da norma ASME IX que considera somente reprovado porosidades com diâmetro maior que  $1/3$  da espessura, como a espessura dos corpos de prova foram de 11,0 mm, somente seria reprovados porosidades com diâmetro maiores que 3,7mm não levando em consideração a quantidade e concentração das descontinuidades. Com relação à mordedura de raiz a norma ASME IX não estabelece critério de aceitação sendo identificado porém aprovado.

Ao analisar a as sobras dos materiais, visualizando a raiz exatamente no trecho marcado na posição 1-2 da gamagrafia do CP1, ocorre uma variação brusca de 5 a 10 mm na largura da raiz conforme se verifica na figura 5.7, o que pode ter sido interpretado com mordedura de raiz no filme radiográfico.

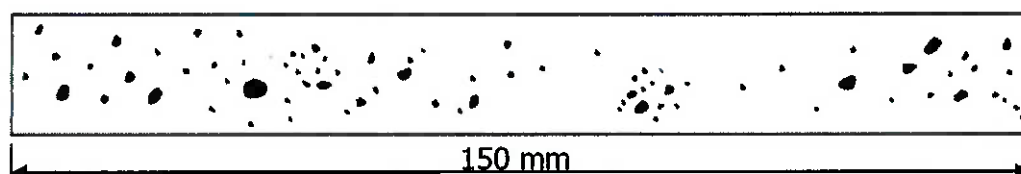


**Figura 5.7** – Variação na largura da raiz posição 1-2 CP1

Na tabela 5.1 é realizada uma comparação dos resultados obtidos com os critérios de aceitação para ensaio radiográfico das normas ASME IX, ASME B31.3 e ASME B31.1.

**Tabela 5.1** – Comparação dos critérios de aceitação das normas ASME IX, ASME B31.3 que utiliza os critérios a norma ASME VIII Div. 1 e ASME B31.1 que utiliza os critérios de aceitação da norma ASME I.

| Norma                                           | Critério de aceitação                                                                                                                               | Laudo                                                                                                                                            |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ASME IX Ed 2010 Ad. 2011                        | Inaceitáveis indicações com comprimento maior que $1/3t$ (considerando $t=11,0$ mm) temos 3,7 mm                                                    | Todos os poros encontrados possuem diâmetros menores que 3,7 mm estando, portanto aprovado                                                       |
| ASME B31.3 Ed. 2010 (ASME VIII Div. 1 Ed. 2010) | Inaceitável tamanho porosidade interna maior que $1/4t$ e distribuição máxima permitida conforme figura 5.8 (considerando $t=11,0$ mm) temos 2,7 mm | Todos os poros encontrados possuem diâmetros menores que 2,7 mm, e a concentração é menor que estabelecido figura 5.8 estando, portanto aprovado |
| ASME B31.1 Ed. 2010 (ASME I Ed 2010 Ad. 2011)   | Inaceitável tamanho porosidade interna maior que $1/4t$ e distribuição máxima permitida conforme figura 5.8 (considerando $t=11,0$ mm) temos 2,7 mm | Todos os poros encontrados possuem diâmetros menores que 2,7 mm, e a concentração é menor que estabelecido figura 5.8 estando, portanto aprovado |



**Figura 5.8** – Distribuição de indicações arredondadas distribuídas consideradas aceitáveis em 150 mm de solda, para espessuras de 10 a 19 mm, conforme norma ASME VIII e divisão 1 apêndice 4 e ASME I apêndice A250

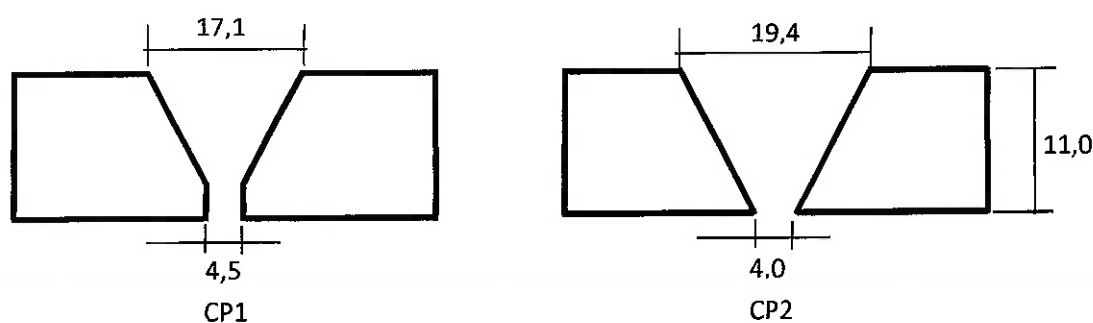
## 5.2. DIMENSIONAL DA SOLDA

Para cada CP foram realizados 4 ensaios dimensionais das soldas nas posições 0, 1, 2 e 3 sendo que os resultados da media das dimensões de altura e largura da face e penetração e largura da raiz do cordão de solda são apresentados na tabela 5.2 para o CP1 e CP2. Os relatórios completos do ensaio dimensional são descritos nos ANEXOS X e XI.

**Tabela 5.2** – Comparação resultados dimensionais do cordão de solda

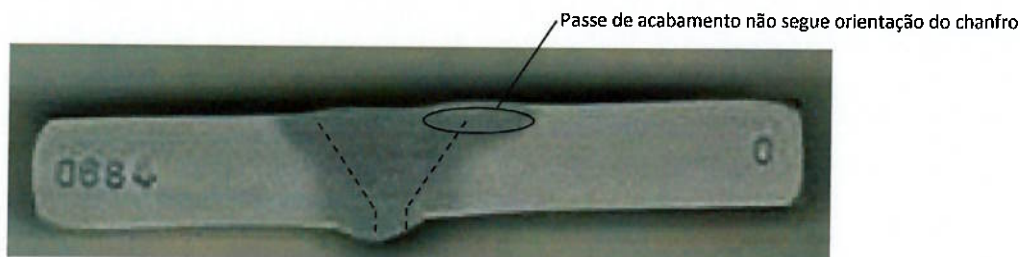
| CP        | Lado da face           |                        | Lado da raiz         |                                         |
|-----------|------------------------|------------------------|----------------------|-----------------------------------------|
|           | Largura do cordão (mm) | Altura do reforço (mm) | Largura da raiz (mm) | Profundidade de penetração da raiz (mm) |
| CP1       | 24,5                   | 1,0                    | 8,3                  | 1,4                                     |
| CP2       | 20,0                   | 1,0                    | 7,5                  | 2,0                                     |
| Diferença | 4,5                    | 0                      | 0,8                  | 0,6                                     |
|           | 18%                    | 0%                     | 9%                   | 31%                                     |

Conforme descrito na tabela 20, os resultados de largura do cordão do lado da face, o CP1 teve uma largura de cordão 18% maior que a do CP2, fato de se opõe a questão de que a dimensão inicial do chanfro na face do CP2 era de 19,4 mm e a do CP1 de 17,1 mm conforme ilustrado na figura 5.9.



**Figura 5.9** – Dimensões dos chanfros na face antes da soldagem

Analisando a macrografia do CP1 foi observado que um dos passes de acabamento foi realizado fora da região do chanfro causando este aumento na largura do cordão, conforme se observa na figura 5.10.



**Figura 5.10** – Análise da largura do cordão na macrografia do CP1.

Outro ponto de análise é a comparação das raízes dos CP1 e CP2. A dimensão largura do CP2 foi 9% menor quando comparado com o CP1. Este fato é compatível com a questão da abertura inicial do chanfro no CP1 ser maior do que no CP2. Isto também demonstra que mesmo sem face de raiz não ocorre um aumento considerável na largura da raiz visto que no início a diferença entre as duas aberturas era de 11% e ao término da soldagem ficou em 9%.

A penetração da raiz no CP2 foi 31% maior do que no CP1. Isto confirma que quando não se utiliza a face da raiz no chanfro, ocorre uma maior penetração da solda, mesmo que foi utilizado uma menor abertura e menores parâmetros de soldagem (CP1 – 165A; 12V / CP2 – 120A; 11V), conforme visto nas tabelas 4.5 e 4.6.

### **5.3. SOLDAGEM DA RAIZ**

Durante a soldagem da raiz do CP2 observou-se uma maior dificuldade na soldagem do passe de raiz para controle da penetração. Este fato ficou evidenciado pela necessidade em se diminuir a abertura do chanfro de 4,5 mm para 4,0 mm, e mesmo com esta ação os parâmetros de soldagem tensão, corrente e velocidade de soldagem foram menores quando comparados com o CP1, conforme demonstrado nas tabelas 4.5 e 4.6.

Comparando somente os valores de velocidade de soldagem do passe de raiz, no CP1 foi de 5,3 cm/min enquanto no CP2 de 4,0 cm/min, isto representa uma diferença de 24,5% e evidencia a maior dificuldade na soldagem da raiz.

#### **5.4. ENSAIO DE DUREZA**

Referente aos ensaios de dureza (HV10) conforme norma Petrobras N133, tem os resultados das medias para as regiões MB, ZAC, e metal de solda são na tabela 5.3, os resultados completos estão descritos nos ANEXO X e IX.

**Tabela 5.3 – Valores médios do ensaio de dureza (HV10)**

| CP        | MB  | ZAC | Metal de solda |
|-----------|-----|-----|----------------|
| CP1       | 175 | 219 | 249            |
| CP2       | 172 | 221 | 242            |
| Diferença | 1   | 3   | 11             |
|           | 1%  | 1%  | 4%             |

Analizando os dados da tabela 5.3 verifica-se que a influência da face da raiz na dureza da soldagem não é considerável, pois os valores na ZAC e solda ficaram em 1% e 4% respectivamente.

A norma ASME B31.3 estabelece um valor máximo de dureza para o material ASTM A335 Gr P11 como 225 HV após tratamento térmico, como o tratamento térmico não foi aplicado, este valor pode somente ser considerado como uma referência, estando somente a região ZF acima deste valor.

#### **5.5. PRODUTIVIDADE**

A comparação da produtividade foi realizada executando medição do tempo total para execução, e do tempo efetivo de arco aberto para a soldagem dos CP1 e CP2. Os dados coletados são descritos na tabela 5.4

**Tabela 5.4 – Análise da produtividade CP1 e CP2.**

| CP        | Tempo total da soldagem<br>(h) | Tempo de arco aberto<br>(min) | Relação do tempo em que<br>ocorre a soldagem (%) |
|-----------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------|
| CP1       | 2,7                            | 59                            | 36%                                              |
| CP2       | 3,4                            | 63                            | 31%                                              |
| Diferença | 0,7                            | 4                             |                                                  |
|           | 21%                            | 6%                            |                                                  |

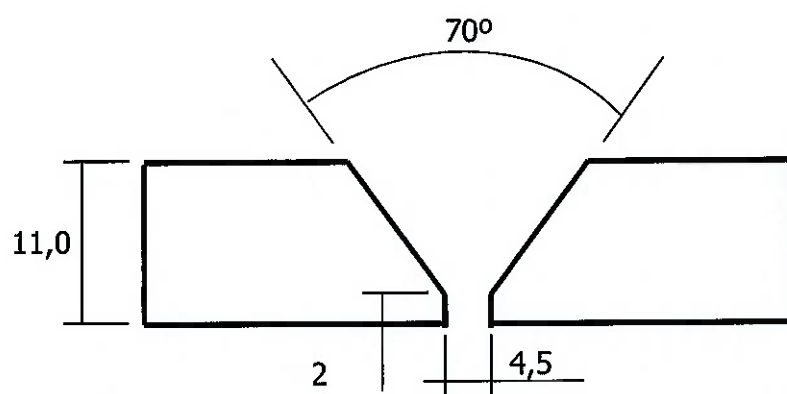
Analizando os dados verifica-se que o tempo total da soldagem do CP2 é 21% maior do que para o CP1, o maior responsável por isso é o passe de raiz do CP2 que foi soldado com velocidade de soldagem menor do que no CP01 conforme tabela 4.6 e 4.5. A quantidade de interrupções durante a soldagem para reparos e emendas de cordão foi também maior no CP2.

Os tempos efetivos de arco aberto foram muito próximos das soldagens dos CP1 e CP2 totalizando uma diferença de apenas 6%

Verificando a relação entre o tempo total da soldagem e o tempo efetivo de arco aberto ocorre a maior diferença de todas, para as duas soldagens ficou evidenciado que o soldador passa somente de 31% a 36% do tempo soldando, a maior parte do tempo é gasta, com regulagem de máquina de solda, afiação de tungstênio, reparo e preparação da unha de soldagem, lixamento. O que leva a crer que ações devem ser tomadas para aumentar a produtividade, aumentando o tempo em que o soldador passa realmente soldando.

## **5.6. QUANTIDADE DE CONSUMÍVEL DEPOSITADO**

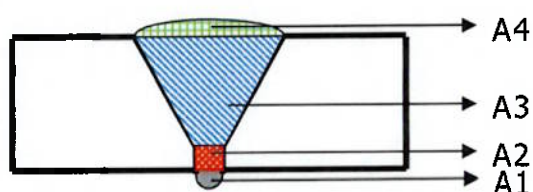
Considerando as dimensões iniciais do chanfro antes das soldagens do CP1 figura 5.11 e para CP2 figura 5.13, as quantidades de consumíveis necessárias são calculadas conforme figuras 5.12 e 5.14.

**Figura 5.11** – Dimensões chanfro do CP1

onde

| Descrição              | letra    | valor | unidade |
|------------------------|----------|-------|---------|
| Espessura              | e        | 11,0  | mm      |
| Ângulo do chanfro      | $\theta$ | 70°   |         |
| Abertura da raiz       | ar       | 4,5   | mm      |
| Altura da face da raiz | hr       | 2,0   | mm      |
| Reforço da face        | rf       | 3,0   | mm      |
| Penetração da raiz     | pr       | 3,0   | mm      |
| Largura da face        | lf       | 17,1  | mm      |
| Altura do chanfro      | hc       | 9,0   | mm      |

|                                     |        |         |                    |
|-------------------------------------|--------|---------|--------------------|
| Area calculada do CP 1              | ACP1   | 151,9   | mm <sup>2</sup>    |
| Comprimento de solda                | Cs     | 528,7   | mm                 |
| Volume calculado CP1                | VCP1   | 80327,3 | mm <sup>3</sup>    |
| Densidade do consumível             | $\rho$ | 7,76    | Kg/dm <sup>3</sup> |
| Quantidade de consumível depositado | Qc     | 0,623   | kg                 |



$$A1 = (2 \cdot pr \cdot ar / 3) + (pr^2 / 2 \cdot ar) \quad A3 = [(lf + ar) \cdot hc] / 2$$

$$A1 = 10,0 \text{ mm}^2 \quad A3 = 97,2 \text{ mm}^2$$

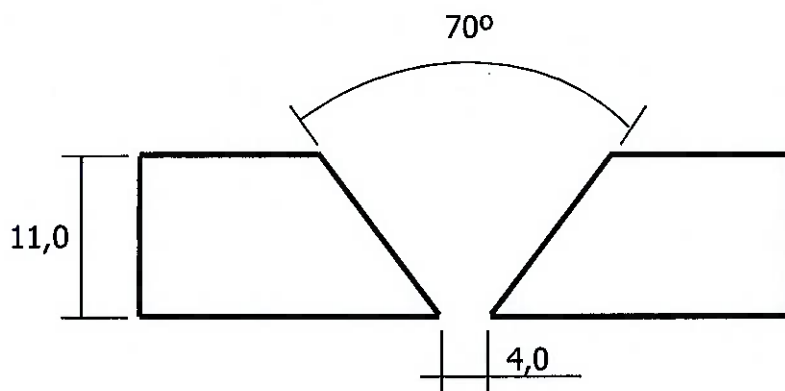
$$A2 = ar \cdot hr \quad A4 = (2 \cdot rf \cdot lf / 3) + (rf^2 / 2 \cdot lf)$$

$$A2 = 9,0 \text{ mm}^2 \quad A4 = 35,7 \text{ mm}^2$$

$$A = A1 + A2 + A3 + A4$$

$$A = 151,9 \text{ mm}^2$$

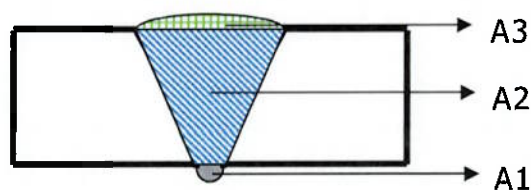
**Figura 5.12** – Cálculo teórico consumível depositado para CP1

**Figura 5.13** – Dimensões chanfro do CP2

onde

| Descrição              | letra    | valor | unidade |
|------------------------|----------|-------|---------|
| Espessura              | e        | 11,0  | mm      |
| Ângulo do chanfro      | $\theta$ | 70°   |         |
| Abertura da raiz       | ar       | 4,0   | mm      |
| Altura da face da raiz | hr       | 0,0   | mm      |
| Reforço da face        | rf       | 3,0   | mm      |
| Penetração da raiz     | pr       | 3,0   | mm      |
| Largura da face        | lf       | 19,4  | mm      |
| Altura do chanfro      | hc       | 11,0  | mm      |

|                                     |        |       |                    |
|-------------------------------------|--------|-------|--------------------|
| Área calculada do CP 2              | ACP2   | 178,2 | mm <sup>2</sup>    |
| Comprimento de solda                | Cs     | 528,7 | mm                 |
| Volume calculado CP2                | VCP2   | 94199 | mm <sup>3</sup>    |
| Densidade do consumível             | $\rho$ | 7,76  | Kg/dm <sup>3</sup> |
| Quantidade de consumível depositado | Qc     | 0,731 | kg                 |



$$A1 = (2 \cdot pr \cdot ar / 3) + (pr^2 / 2 \cdot ar) \quad A2 = [(lf + ar) \cdot hc] / 2$$

$$A1 = 9,1 \text{ mm}^2 \quad A3 = 129 \text{ mm}^2$$

$$A3 = (2 \cdot rf \cdot lf / 3) + (rf^2 / 2 \cdot lf)$$

$$A3 = 40,3 \text{ mm}^2$$

$$A = A1 + A2 + A3$$

$$A = 178,2 \text{ mm}^2$$

**Figura 5.14** – Cálculo teórico consumível depositado para CP2

Ao analisar-se os resultados teóricos de quantidade de consumíveis, para a soldagem do CP2 a quantidade de consumível necessária é 14,7% maior do que para a soldagem do CP1, considerando as aberturas de 4,5 mm para CP1 e 4,0 mm para o CP2. Se considerar as duas aberturas iguais em 4,5 mm esta diferença passa a ser 17,3%, sendo os resultados descritos na tabela 5.5.

As sobras dos consumíveis foram pesadas ao término das soldagens e os resultados encontrados são descritos abaixo

Peso de 10 varetas = 0,615 kg

### Valores pesados para CP1

Quantidade de varetas utilizadas = 9 varetas

Peso das varetas utilizadas = 0,554 Kg

Peso das sobras = 0,115 kg

Peso real depositado = 0,439 kg

### Valores pesados para CP2

Quantidade de varetas utilizadas = 12 varetas

Peso das varetas utilizadas = 0,738 Kg

Peso das Sobras = 0,135 kg

Peso real depositado = 0,603 kg

Na tabela 5.5 é feita uma comparação entre os valores teóricos e os valores encontrados para a quantidade de consumível depositado.

**Tabela 5.5 – Análise das quantidades de consumíveis utilizados**

| CP        | Quantidade teórica de consumível (Kg) | Quantidade real de consumível utilizado (kg) | Diferença entre o cálculo teórico e real (%) |
|-----------|---------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|
| CP1       | 0,623 Kg                              | 0,439                                        | 29,5%                                        |
| CP2       | 0,731 Kg                              | 0,603                                        | 17,5%                                        |
| Diferença | 0,108                                 | 0,164                                        |                                              |
|           | 14,7%                                 | 27,2%                                        |                                              |

De um modo geral a quantidade de consumível calculada teoricamente, foi de 29,5% maior do que a quantidade utilizada para a soldagem do CP1 e de 17,5% maior do que a quantidade utilizada para a soldagem do CP2.

Considerando que os valores de reforço de face e raiz utilizadas para cálculo teórico foi maior do que verificado real conforme tabela 5.6.

**Tabela 5.6 – Comparação das dimensões dos reforços de solda**

| Corpo de prova | Raiz (mm) |      |            |      | Face    |      |         |      |
|----------------|-----------|------|------------|------|---------|------|---------|------|
|                | Largura   |      | Penetração |      | Largura |      | Altura  |      |
|                | Teórico   | Real | Teórico    | Real | Teórico | Real | Teórico | Real |
| CP1            | 4,5       | 8,3  | 3,0        | 1,4  | 17,1    | 24,5 | 3,0     | 1,0  |
| CP2            | 4,0       | 7,5  | 3,0        | 2,0  | 19,4    | 20,0 | 3,0     | 1,0  |

Refazendo os cálculos teóricos de consumíveis, considerando agora os valores de reforço reais, as diferenças diminuem para 3,8% no CP2 e 18,2% no CP1, porém ainda existe alguma variável que precisa ser refinada, a tabela 5.7 demonstra esta análise.

**Tabela 5.7** – Análise das quantidades de consumíveis utilizados considerando reforço real

| CP        | Quantidade teórica de consumível (Kg) | Quantidade real de consumível utilizado (kg) | Diferença entre o cálculo teórico e real (%) |
|-----------|---------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|
| CP1       | 0,537                                 | 0,439                                        | 18,2%                                        |
| CP2       | 0,627                                 | 0,603                                        | 3,8%                                         |
| Diferença | 0,090                                 | 0,164                                        |                                              |
|           | 14,4%                                 | 27,2%                                        |                                              |

Considerando os tempos de arco aberto e quantidade de consumível depositado foram obtidas as seguintes taxas de deposição para o CP1 e CP2 e conforme descrito na tabela 5.8.

**Tabela 5.8** – Taxa de deposição obtida CP1 e CP2

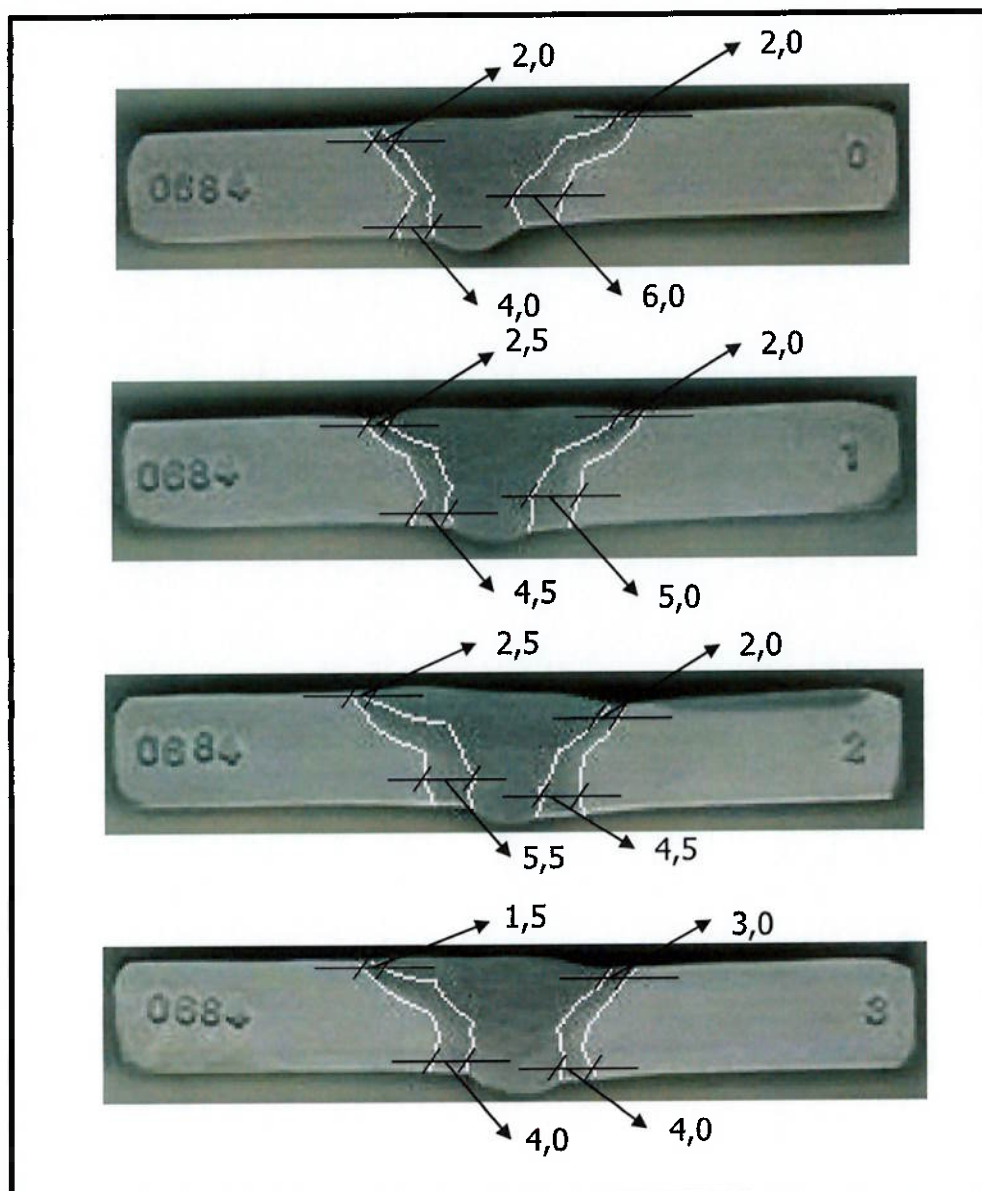
| CP        | Tempo total da soldagem (h) | Quantidade real de consumível utilizado (kg) | Taxa de deposição (Kg/h) |
|-----------|-----------------------------|----------------------------------------------|--------------------------|
| CP1       | 0,98                        | 0,439                                        | 0,45                     |
| CP2       | 1,05                        | 0,603                                        | 0,57                     |
| Diferença | 0,090                       | 0,164                                        | 0,12                     |
|           | 14,4%                       | 27,2%                                        | 21,0%                    |

Os valores da taxa de deposição de 0,44 Kg/h para o CP1 e 0,60 Kg/h para o CP2 são baixos porém compatíveis com o processo TIG. A taxa de deposição do CP1 foi 21,0% menor do que obtido no CP2, inicialmente isto contradiz ao fato de que para a soldagem do CP2 a velocidade de soldagem média 5,7 cm/min enquanto que no CP2 foi de 6,9 cm/min, o qual é um valor 17,4% maior do que no CP2. Observando a sequência de passes no ANEXO VIII e IX, para a soldagem do CP1 foi necessário um passe a mais do que na soldagem do CP2, isto evidencia que para a soldagem do CP1 a quantidade de

consumível depositado por cada passe foi menor resultando em uma menor taxa de deposição do que no CP2.

### **5.7. TAMANHO DA ZAC**

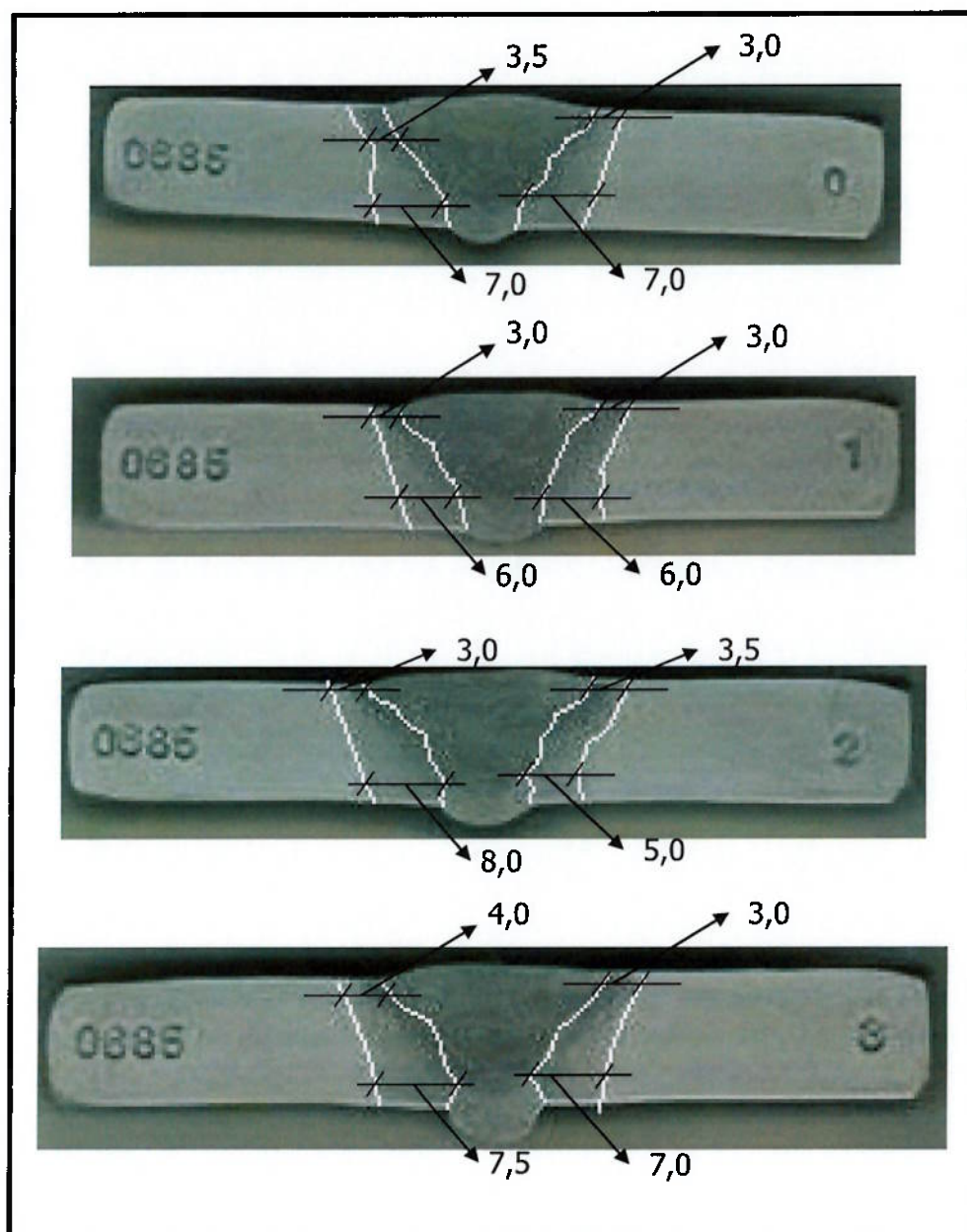
Os resultados dos tamanhos da ZAC foram obtidos através de quatro medições realizadas nas macrográfias sendo duas de cada lado da solda pegando os pontos máximos e mínimos. Estas medições foram realizadas nas quatro posições de amostra de cada CP. As medições e os resultados são descritos nas figura 5.15 e tabela 5.8 para CP1 e figuras 5.16 e tabela 5.16 para o CP2.



**Figura 5.15** – Medida do tamanho da ZAC do CP1

**Tabela 5.9** – Medida do tamanho e cálculo das médias da ZAC do CP1

| Posição | CP1               |     |     |     |             |             |            |
|---------|-------------------|-----|-----|-----|-------------|-------------|------------|
|         | Valor medido (mm) |     |     |     | Mínimo (mm) | Máximo (mm) | Média (mm) |
|         | 1                 | 2   | 3   | 4   |             |             |            |
| 0       | 2,0               | 4,0 | 2,0 | 6,0 | 2,0         | 6,0         | 3,5        |
| 1       | 2,5               | 4,5 | 2,0 | 5,0 | 2,0         | 5,0         | 3,5        |
| 2       | 2,5               | 5,5 | 2,0 | 4,5 | 2,0         | 5,5         | 3,6        |
| 3       | 1,5               | 4,0 | 3,0 | 4,0 | 1,5         | 4,0         | 3,1        |
| Total   |                   |     |     |     | 1,5         | 6,0         | 3,4        |



**Figura 5.16** – Medida do tamanho da ZAC do CP2

**Tabela 5.10** – Medida do tamanho e cálculo das médias da ZAC do CP2

| Posição      | CP2               |     |     |     |             |             |            |
|--------------|-------------------|-----|-----|-----|-------------|-------------|------------|
|              | Valor medido (mm) |     |     |     | Mínimo (mm) | Máximo (mm) | Média (mm) |
|              | 1                 | 2   | 3   | 4   |             |             |            |
| 0            | 3,5               | 7,0 | 3,0 | 7,0 | 3,0         | 7,0         | 5,1        |
| 1            | 3,0               | 6,0 | 3,0 | 6,0 | 3,0         | 6,0         | 4,5        |
| 2            | 3,0               | 8,0 | 3,5 | 5,0 | 3,0         | 8,0         | 4,9        |
| 3            | 4,0               | 7,5 | 3,0 | 7,0 | 3,0         | 7,5         | 5,4        |
| <b>Total</b> |                   |     |     |     | 3,0         | 8,0         | 5,0        |

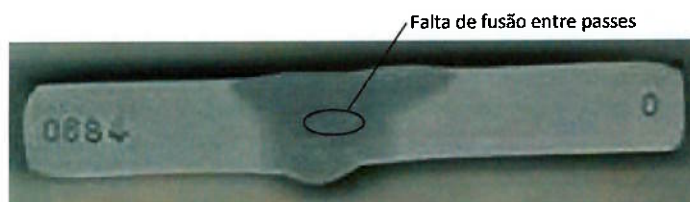
Analisando os resultados médios obtidos nas dimensões da ZAC, no CP2 sem face de raiz a dimensão da ZAC foi 31% maior em relação ao CP1 com face de raiz de 2,0 mm, isto demonstra que a face da raiz tem influência no tamanho da ZAC conforme observado na tabela 5.11.

| CP        | Mínimo (mm) | Máximo (mm) | Media (mm) |
|-----------|-------------|-------------|------------|
| CP1       | 1,5         | 6,0         | 3,4        |
| CP2       | 3,0         | 8,0         | 5,0        |
| Diferença | 1,5         | 2,0         | 1,5        |
|           | 50%         | 25%         | 31%        |

**Tabela 5.11** – Resultados médios do tamanho da ZAC

## 5.8. MACROGRÁFIA

No ensaio de macrografia foi encontrado uma falta de fusão entre passes na posição 0 do CP1 conforme figura 5.17, sendo que esta descontinuidade não foi verificada no ensaio radiográfico.



**Figura 5.17** – Falta de fusão entre passes CP1 posição 0

Nos ensaios de radiografia e macrografia não foi encontrada nenhuma trinca na solda e nem na ZAC, isto demonstra que mesmo sem o pré-aquecimento recomendado de 120°C, é possível soldar o material ASTM A335 Gr P11 no processo TIG sem a ocorrência de trincas a frio.

## **6. CONCLUSÕES.**

- A taxa de deposição pode ser melhorada com uma relativa diminuição da velocidade de soldagem, e consequente aumento da espessura depositada em cada passe.
- A produtividade do soldador no processo TIG é muito baixa devido ao fato de que ele está realmente soldando em apenas 35% do tempo,
- A face da raiz não tem influência significativa na dureza da ZAC e da ZF.
- A ausência da face da raiz aumenta em 31% a penetração da soldagem, porém aumenta também a dificuldade na realização da soldagem,
- A ausência da face de raiz diminui em 24,5% a velocidade de soldagem.
- A ausência da face da raiz aumenta em 17,3% a quantidade de consumível a ser depositado, comparado com juntas de mesmo ângulo e abertura de chanfro.
- A ausência da face da raiz aumenta em 31% a extensão máxima da ZAC.
- Neste caso específico, utilizando o processo de soldagem TIG em tubulações do material ASTM A335 Gr P11 com espessura de 11,0 mm, e o consumível ER80S-B2. Foi possível realizar a soldagem sem a aplicação do pré-aquecimento de 120°C recomendado por normas, onde não houve a ocorrência de trincas a frio, porém são necessários mais estudos em diferentes espessuras e diâmetros para se chegar a uma conclusão sobre a aplicação do pré-aquecimento em soldagens no processo TIG deste material.

### **SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS**

- Comparar a influência da temperatura de pré-aquecimento no processo de soldagem TIG dos Aços Cr – Mo com foco na identificação de trincas a frio.
- Estudar formas de aumentar o tempo real de arco aberto a fim de se aumentar a produtividade na soldagem TIG manual de tubulações.
- Estudar a influência da velocidade de soldagem no tamanho da ZAC para os aços Cr-Mo
- Avaliar influência da velocidade de soldagem na taxa de deposição para o processo de soldagem TIG com foco na espessura de metal depositado.

## **7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:**

- [1] *STANDARD Specification for Seamless Ferritic Alloy-Steel Pipe for High-Temperature Service: A335/A335M*. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken. 2011.
- [2] *RECOMMENDED Practices for Welding of Chromium-Molybdenum Steel Piping and Tubing: AWS D10.8*. American Welding Society. Miami. 1996.
- [3] *QUALIFICATION Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers and Welding and Brazing Operators: ASME IX*. American Society of Mechanical Engineers. New York. 2011.
- [4] *SOLDAGEM: N133 Rev. K*. Petrobras. [S.I.]. 2012
- [5] HU, Z. F. *Heat-Resistant Steels, Microstructure Evolution and Life Assessment in Power Plants*. Tongji University. Shanghai. 2012.
- [6] *POWER Piping: ASME B31.1*. American Society of Mechanical Engineers. New York. 2010.
- [7] *PROCESS Piping: ASME B31.3*. American Society of Mechanical Engineers. New York. 2010.
- [8] *RULES for Construction of Pressure Vessels: ASME VIII div. 1*. American Society of Mechanical Engineers. New York. 2010.
- [9] *RULES for Construction of Power Boilers: ASME I*. American Society of Mechanical Engineers. New York. 2011.
- [10] FORTES, C., & ARAUJO, W. *Metalurgia da Soldagem*. ESAB. [S.I.]. 2004
- [11] MODENESI, J. P. *Soldabilidade de Algumas Ligas Metálicas*. UFMG. Belo Horizonte. 2008

- [12] *METALS and Their Weldability: Welding Handbook - Volume 4*. American Welding Society. Miami. 1982.
- [13] *MATERIAL Data Sheet P11 / T11*. Produzido Por: Thyssenkrupp Materials International. Disponível em: [http://www.s-k-h.com/media/de/Service/Werkstoffblaetter\\_englisch/Kesselrohre ASTM/P11 T11 engl.pdf](http://www.s-k-h.com/media/de/Service/Werkstoffblaetter_englisch/Kesselrohre_ASTM/P11_T11_engl.pdf).  
Acessado em Jan/13.
- [14] Fonseca, A. S. *Soldagem TIG*. SENAI. Varginha-MG. 2004.
- [15] *WELDING and Cutting Processes Course - Modulo 5: Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)*. American Welding Society. [ca. 1990].
- [16] *Specification for Tungsten and Tungsten-Alloy Electrodes for Arc Welding and Cutting: SFA-5.12/SFA-5.12M*. American Society of Mechanical Engineers. New York. 2010.
- [17] *WELDING Science & Technology: Welding Handbook - Volume 1*. American Welding Society. Miami. 2001.
- [18] *APPLICATIONS of Welding: Welding Handbook - Section 5*. American Welding Society. Miami. 1973.
- [19] *BUTTWELDING Ends: ASME B16.25*. American Society of Mechanical Engineers. New York. 2007.
- [20] *SPECIFICATION for Low-Alloy Steel Electrodes and Rods for Gas: SFA-5.28/SFA-5.28M*. American Society of Mechanical Engineers. New York. 2010.
- [21] KOU, S. *Welding Metallurgy*. John Wiley & Sons. 2002

**ANEXO I - PATENTE DO PROCESSO DE SOLDAGEM TIG**

Feb. 24, 1942.

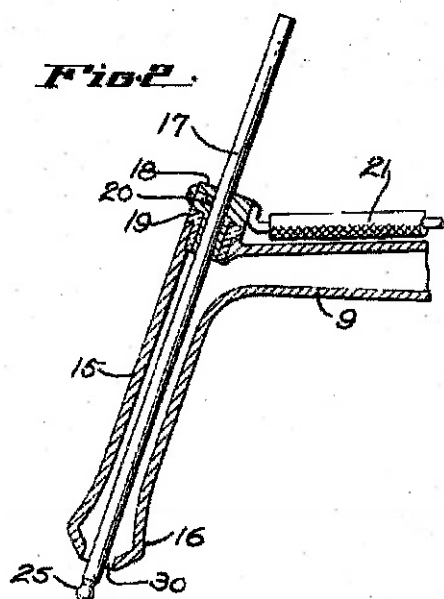
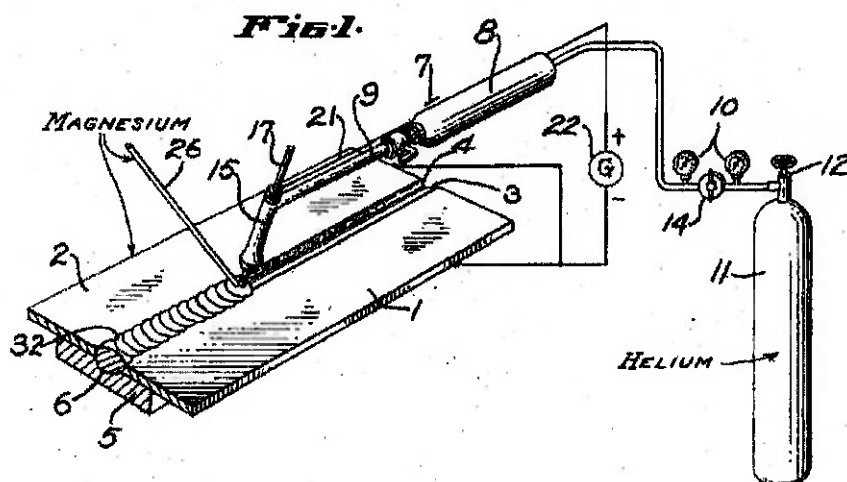
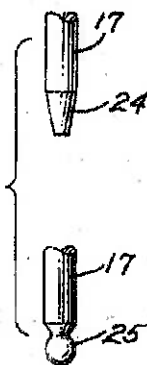
R. MEREDITH

2,274,631

WELDING TORCH

Filed Jan. 4, 1941

2 Sheets-Sheet 1

**Fig. 3.**

INVENTOR.  
 RUSSELL MEREDITH  
 BY  
*Lippincott & Metcalf*  
 ATTORNEY.

Feb. 24, 1942.

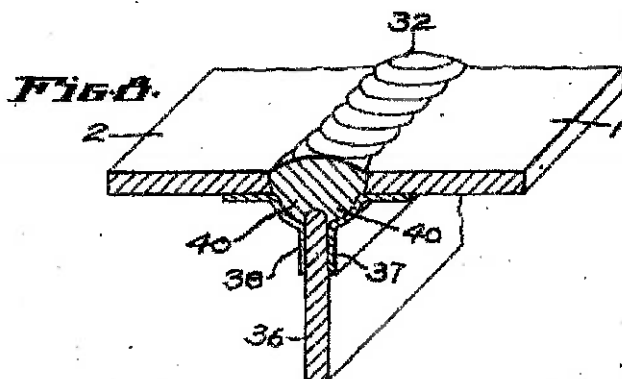
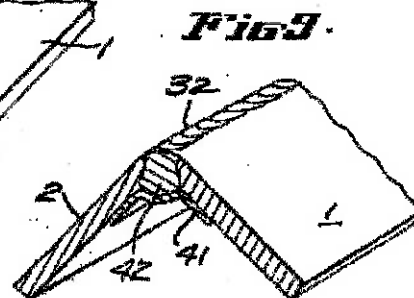
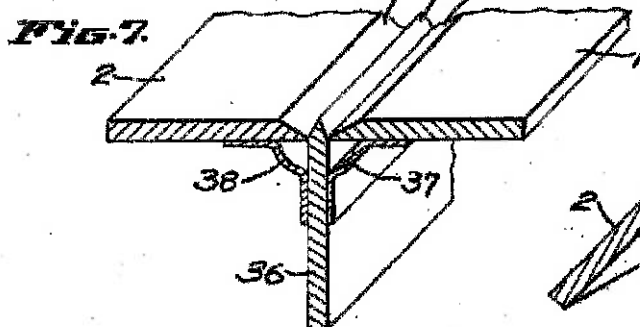
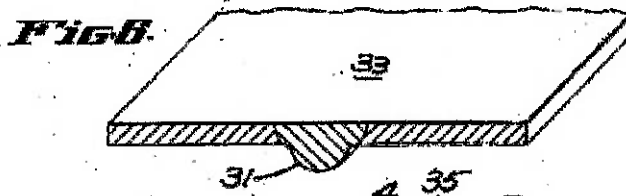
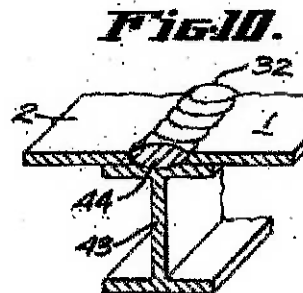
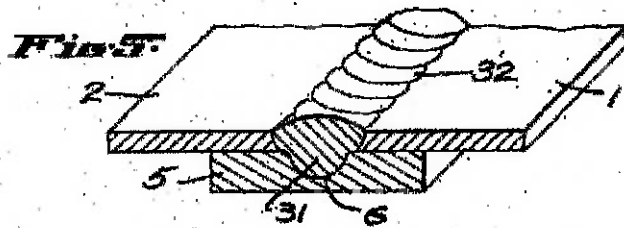
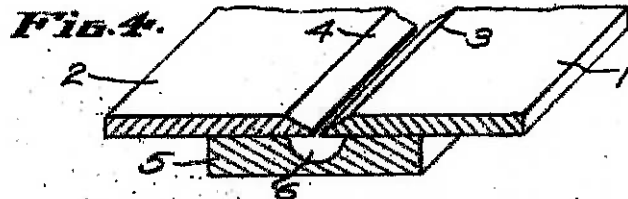
R. MEREDITH

2,274,631

WELDING TORCH

Filed Jan. 4, 1941

2 Sheets-Sheet 2



INVENTOR.  
RUSSELL MEREDITH  
BY  
*Lippincott & Metcalf*  
ATTORNEY.

Patented Feb. 24, 1942

2,274,631

## UNITED STATES PATENT OFFICE

2,274,631

## WELDING TORCH

Russell Meredith, Los Angeles, Calif., assignor to  
Northrop Aircraft, Inc., Hawthorne, Calif., a  
corporation of California

Application January 4, 1941, Serial No. 373,187

4 Claims. (Cl. 219-15)

My invention relates to welding of magnesium and its alloys, and more particularly to a means whereby inflammable metals having a relatively low melting point may be efficiently welded by the electric arc.

In modern airplane development, the trend is toward the use of light, strong alloys, and as a consequence magnesium, due to its lightness, is more and more coming into use for such purposes. In most cases when magnesium sheets, or sheets made of magnesium alloys containing a predominance of magnesium are used and the airplane or other light structures fabricated from these sheets, and from extruded elements of the same material, the structures have generally heretofore been fabricated by riveting. Obviously, a welding technique capable of welding highly inflammable materials, such as magnesium, must differ greatly from the techniques used in welding materials having high melting points and higher ignition temperatures. It is well known that magnesium metal will burn in practically all of the polytomic gases, such as for example, oxygen, carbon dioxide and nitrogen.

I have found however, that when magnesium is blanketed with a covering of a monatomic inert gas, such as helium, that ignition of the magnesium will not occur. I have also found that magnesium and various alloys thereof, such as for example, the various grades of "Dowmetal" rapidly lose their stiffness upon being heated at relatively low temperatures, and the scarfed edges become limp and sag to such an extent that ordinary welding methods are entirely unsatisfactory.

The primary object of my invention is to provide a means for welding magnesium without ignition thereof. Another object of my invention is the providing of a means for welding magnesium and its common alloys, in such a manner that a strong weld is made and wherein sagging and deformation of the metal adjacent the weld is controlled, without the application of corrosive welding fluxes commonly used for welding of light alloys generally and magnesium alloys in particular. I have also found that in the welding of magnesium the cast structure of the weld has approximately 50% of the strength of the original wrought metal, in pounds per square inch, and in consequence another object of my invention is to provide a means and method of making a magnesium weld wherein the weld section is increased approximately 100% in area so that the weld portion is approximately as strong as the adjacent material.

Broadly as to method, my invention comprises the striking of an electric arc between a tungsten rod and the magnesium pieces to be welded, in an atmosphere of helium which is being supplied to the arc region under relatively low pressure. During the welding of magnesium pieces, I prefer to form the weld under the influence of gravity and prevent sagging, running and dripping by backing the weld in such a manner that the lower part of the weld is molded with an enlarged weld section, so that after the weld is completed, the weld area will have a larger section than that of the adjacent material. In some cases I may form the backing of magnesium itself, or I may back the pieces to be welded by a material having a higher melting point than the magnesium, so that the melted magnesium will not stick thereto, and so that the finished weld can be easily removed from the backing.

My invention may be more fully understood by direct reference to the drawings, wherein:

Fig. 1 is a partly diagrammatic perspective view of the general welding layout embodying my invention.

Fig. 2 is a view partly in section of the helium tungsten welding "torch" as it may be called, shown diagrammatically in Fig. 1.

Fig. 3 shows two views of the tungsten rod tip.

Figs. 4 and 5 and 6 are sectional and perspective views of different stages of a butt-weld made on magnesium sheet.

Figs. 7 and 8 are similar figures of a T-weld.

Fig. 9 is a similar view of an angle weld.

Fig. 10 is a similar view of a weld made between sheet on an extruded part.

Referring directly to Fig. 1 for the general setup of my invention for a butt-weld, a pair of magnesium sheets 1 and 2 are held securely in a jig, not shown, and the edges of the sheets to be welded are provided with scarfs 3 and 4, the angle formed by these scarfs being on the order of 100°, this angle being varied somewhat in accordance with the thickness and specific chemical structure of the magnesium or alloy to be welded. The sharp lower edges of the scarfs 3 and 4 are closely adjacent, and the sheets 1 and 2 are preferably positioned in a horizontal plane so that gravity may act on the metal during the weld. Immediately beneath the scarfed edges 3 and 4 of the sheet is positioned a backing plate 5 usually of copper having a central semi-elliptical channel 6 therein, centered with respect to the aligned edges of the scarfs. The backing plate 5 may well be an integral portion of the jig holding sheets 1 and 2. If desired,

2

2,274,631

and for best results the chilling effect of the backing plates on the weld can be reduced by suitable heat transfer means, preferably electric, embedded in the backing plate 5. The welding torch 1 is provided comprising a handle 3 surrounding a copper tube 9 extending therethrough, one end of which connects to a pressure gauge system 10 of the usual type which is supplied with gas from a helium tank 11 controlled by a shut-off valve 12. Helium tank 11 contains relatively pure helium under pressure, and the pressure is reduced by reducing valve 14 to a value in the neighborhood of about one-third pound per square inch pressure. The other end of pipe 9 connects with a hollow delivery nozzle 15 terminating in a flare 16. A tungsten welding rod 17 passes axially through nozzle 15, and is held in place by a copper bushing 18 attached to a heat resisting insulator 19, which is pressed into the top of nozzle 15. Rod 17 is adjustable in nozzle 15 by the use of rod set-screw 20. Copper bushing 18 is supplied with electrical current through one or more parallel connected supply wires 21, these wires passing through handle 3 and going to a direct current generator 22, the other pole of which is connected to sheets 1 and 2 and backing 8, by appropriate connectors. This connection may of course be made to the jig, but I have found it preferable to connect the generator directly to both sheets for best results.

The arc tip of rod 17 is shown in Fig. 3, this tip being originally ground to a coned end 24 before being used, and I have found that after the arc has been struck this coned end changes shape due to the heat of the arc, to a ball-end 25, and that this ball-end once formed, remains in good condition for a large amount of welding. After the ball-end 25 has been destroyed by repeated welds, the rod may be reconditioned by hand and re-formed into a ball by welding. The metal for the weld is supplied by a magnesium alloy filler rod 26 without flux coating of any kind, and best results have been obtained by feeding this rod in on the side of the scarf as shown in Fig. 1.

Various stages in the formation of a butt-weld are shown in Figs. 4, 5 and 6. For magnesium sheets from .040 to .1 inch, an open circuit generator voltage of from 40 to 80 volts may be used with amperage varying from 35 to 75 amperes in accordance with the demand required. Helium is then flowed at low pressure, say about one-third pound per square inch in the nozzle, through the pipe-line 9, so that it emerges from the open end 16 on nozzle 15, immediately around the tip 24 of tungsten rod 17.

The arc is then struck against the object to be welded, and the magnesium alloy filler rod is fed into the arc rather than into the scarf. The arc should be moved to the bottom of the scarf, then to the top of the bead, as the metal from the filler rod is melted in the arc, so as to insure full fusion of the metal, and the arc should be maintained close to the puddle formed by the metal melting from the filler rod 26 and the melted sheet edges. The cold filler rod should never touch the molten metal and should not be used to form the puddle as this will cause a gas inclusion. The filler rod is merely used for feeding metal into the arc as needed. The puddle should be formed by movement of the tungsten tip 24, with the weld metal being flowed in from the side from the filler rod. Under these conditions tungsten does not deposit in the weld, but changes to tungsten oxide, and either dis-

appears as a gas or deposits on the sheets 1 and 2 at a distance from the weld.

With this in mind, and with the sheets 1 and 2 set up as shown in Fig. 1 and Fig. 4, the weld is started. The helium gas surrounding the arc prevents ignition of the sheet edges or of the filler rod and a puddle forms. Backing plate 5 controls sagging of the sheet edges on the sides of the weld, but allows sagging into channel 6, with channel 6 acting as a mold, so that on the back of the weld semi-elliptical bead 31 is formed as the weld is built up from a series of puddles 32 as shown in Fig. 5. These puddles should be made sufficiently high above the surface of sheets 1 and 2 to allow for shrinkage. After the weld is finished the surface indications of the puddles 32 may be removed by grinding, if desired, to leave a smooth top surface 33 as shown in Fig. 6 backed by bead 31. The weld section, due to the molding of the back of the weld may be made approximately 100% greater than the sheet section, and in consequence the loss of strength in the weld may be approximately compensated for. The use of the backing strip as a whole prevents any dripping, running or distortion other than the desired and controlled shaping of the weld and adjacent areas.

In Figs. 7 and 8 I have shown a T-weld where sheets 1 and 2 are provided with their scarfs 3 and 4 separated by a scarfed edge 25 of a third sheet 26. Thus I provide a double channel weld which is then made as directed for the butt-welds. In this case backing plates 31 and 32 are positioned in the angles beneath scarfs 3 and 4 so that a quarter round bead 33 may be formed joining plate 26 with sheets 1 and 2. The puddles 32 form the top of the T-weld in this case, and if puddles 32 are on the outside surfaces of the plates, these may later be removed to form a smooth top surface which is highly desirable in airplane construction.

In Fig. 9 I have shown an angle-weld which is made similarly to a butt-weld, except that an angular backing plate 41 is used so that a segmental bead 42 may be formed on the inner angle of the joined plates, with the puddles 32 on the outside of the angle.

It will be obvious to those skilled in the art that other shapes may be welded as desired, utilizing the teachings outlined above by using scarfed edges, a backing member having a channel therein, so that the sagging material may be accurately molded as desired to form a strengthening bead. It is also obvious that welds can be made with flat backing plates if high strength is not necessary, or without backing plates of any nature, if sagging of the welded edges or the weld is not objectionable.

It will also be obvious to those skilled in the art, that when welds are to be made to extruded members, such as a butt-weld between sheets to the top of an extended I-beam 43 or similar section, that the I-beam may be positioned beneath the scarfed edges of the sheet and that in this case no channel is needed, as the weld can be carried down into the I-beam material as shown in Fig. 10. Under these

weld 44 will then attach all three pieces. I would like to point out several features of my invention which, while not essential to the broad practice of the invention, are highly desirable in making perfect welds. It will be noticed that I have used a flared portion 16 at the end of the welding torch. This flared section is for a definite purpose as it prevents oxygen which

2,274,631

3

is being drawn into the arc region by the action of the outflowing helium gas, from entering the weld and touching the heated metal. The outflowing gas from aperture 30 spreads around the arc with the flow outward over the sheets from the edges of apertures 22. Such an outward helium flow draws air downwardly along nozzle 18, and flare 16 on the nozzle directs this air flow away from the arc region. I have found that such a flare is highly desirable to prevent accidental oxygen entrance into the region of the weld.

I have found that with the use of the method and apparatus described above, that I can make a butt-weld between magnesium sheets of from .040 to .180 inch thickness, for example, at the rate of 10 to 15 inches per minute using 65 to 140 amperes. I have also found that melting of the tungsten rod can be accurately controlled by proportioning the diameter of the rod from approximately .380 of an inch for a 50 ampere current density, up to  $\frac{1}{4}$  inch at a 300 ampere current density. By the use of helium gas surrounding the weld I have completely prevented any ignition or burning of the sheets, filler rod or deposited material, and the weld is free from gas intrusions, and from magnesium or tungsten oxide inclusions. The welding of highly inflammable magnesium is thus as satisfactory from a practical standpoint as the welding of other materials which do not have the low sagging, low ignition and low melting temperatures of magnesium.

An application directed to the method has been filed on October 6, 1941, bearing the serial number of 413,711.

I claim:

1. An open arc welding torch consisting of a hollow handle, a hollow nozzle angularly attached to said handle with the interior of said nozzle connected with the interior of said handle, and open at one end thereof, a conducting fitting insulated from said nozzle and closing the other end thereof, a refractory welding electrode slidable in said fitting and maintained thereby in axial relation to the interior wall of said nozzle with an annular space therebetween, with the end of said electrode projecting outside of said opening, an electrical conductor attached to said fitting, and a source of inert gas connected with

the interior of said handle, the wall of said nozzle gradually flaring outward as said opening is approached, and then recurving axially to terminate at said opening to provide an enlarged portion of said annular space adjacent said opening.

2. In an arc welding torch having a single refractory electrode applied to a work piece to form an arc therebetween, a hollow nozzle surrounding said electrode, means for concentrically holding said electrode in said nozzle with the end of said electrode projecting from an opening of said nozzle, the interior of said nozzle being shaped to provide an annular space around said rod within said nozzle, and further being shaped to provide an expanded portion of said interior adjacent said opening, the walls of said nozzle adjacent said opening being of substantially uniform thickness to provide an outer end flare for said nozzle and a conduit for supplying an inert gas to said annular space under pressure to flow through said expanded portion and out of said opening around said end.

3. Apparatus in accordance with claim 2 wherein means are provided to supply said conduit with said inert gas at a pressure on the order of one-third pound per square inch.

4. An open arc welding torch consisting of a hollow handle, a hollow nozzle angularly attached to said handle with the interior of said nozzle connected with the interior of said handle, and open at one end thereof, a conducting fitting insulated from said nozzle and closing the other end thereof, a refractory welding electrode slidable in said fitting and maintained thereby in axial relation to the interior wall of said nozzle with an annular space therebetween, with the end of said electrode projecting outside of said opening, an electrical conductor attached to said fitting, and a source of inert gas connected with the interior of said handle, the wall of said nozzle gradually flaring outwardly as said opening is approached, and then recurving axially to terminate at said opening, said wall being of substantially uniform thickness to provide an outer flare and an inner expanded portion of said annular space just inside said opening to provide an enlarged portion of said annular space adjacent said opening.

RUSSELL MEREDITH.

**ANEXO II - CERTIFICADO DO TUBO ASTM A335 GR P11**

**CERTIFICADO DE INSPEÇÃO** Nº.: 0050414122 Folha: 1 - 2  
De acordo com DIN EN 10304 - 1



**V & M do BRASIL S.A.**  
USINA BARREIRO - Belo Horizonte - MG - Brasil  
CEP 30161-970 - Caixa Postal 1453

Cliente: MIEFER-IND. E MERCANTIL DE FERRAGENS LTDA  
Pedido Cliente: P11 - 271  
Inspeção: V & M do BRASIL S.A.  
Número NEO:

Pedido Breve: Pedido Único: 260576 / 000010  
Cod. Material: 372014  
Número do Material do Cliente: P-271 - ITEM 6



Dimensões: 168,30 mm X 10,97 mm SCHEDULE: 800 # GRAU DO AÇO: GR P11 MOD  
NORMA METALÚRGICA: ASTM A 335 01.01 2006 # NORMA DIMENSIONAL: ASTM A 335 01.01.2005  
PRODUTO: TUBOS DE AÇO SEM COSTURA LAMINADO À QUENTE, PONTA LISA # RECOZIDO # PROTEÇÃO SUPERFICIAL: SEM PROTEÇÃO #  
TOLERÂNCIAS: DIÂMETRO EXTERNO: - 0,790 mm / + 1,590 mm PAREDE: - 1,371 mm / + 1,616 mm  
CONPRIMENTO: FAIXA 9 000,00 mm - 13 000,00 mm #  
MARCAÇÃO DE NORMA: VMB ASTM A 335 P11 SCH 800 00016 MPA...M HEAT "HEAT"

| Amarrado   | Corrida | Lote de Produção | Lote de Controle | Peças | Comprimento de Amarrado | Peso (kg) |
|------------|---------|------------------|------------------|-------|-------------------------|-----------|
| 0009774185 | 32230   | 0009770551       | 03001709899      | 5     | 55,36 m                 | 2382      |

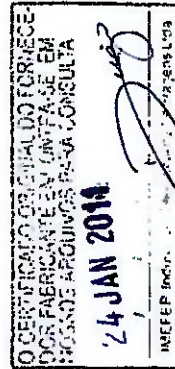
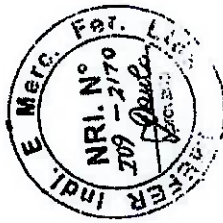
| O PRODUTO FOI APROVADO NOS SEGUINTES TESTES/INSPEÇÕES: DIMENSIONAL # VISUAL # TESTE DE ACHATAMENTO # TESTE HIDROSTÁTICO 16,0 MPA 5 x 8 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%):                                                                                                                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| C Mn P S Si Ni Cr Mo Al Cu Se V Nb B Ti Pb                                                                                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Exigência: Mín 0,05 0,30 0,50 0,50 1,00 0,44 1,00 0,44 0,15 0,60 0,025 0,025 1,00 1,50 0,65                                            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Max 0,15 0,60 0,025 0,025 1,00 1,50 0,65                                                                                               |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Corr. / Lote de Produção:                                                                                                              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 32230-0009770551 0,11 0,42 0,015 0,002 0,57 1,06 0,45 0,020 0,002                                                                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Check1 0,12 0,41 0,014 0,002 0,55 1,08 0,44 0,018 0,000                                                                                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Check2 0,12 0,41 0,015 0,002 0,56 1,08 0,44 0,018 0,000                                                                                |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

| ENSaios MECÂNICOS        |            |         |                          | Temperatura: Ambiente |       | Medida L0: L0=2 |  |
|--------------------------|------------|---------|--------------------------|-----------------------|-------|-----------------|--|
| Trm °o                   | Arred(MN2) | LE(MPA) | Direção CP: Longitudinal | AL(%)                 | R.A.O | LE/RT           |  |
| Exigência: Mín:          | 205        | 415     |                          | 30                    |       |                 |  |
| Max:                     |            |         |                          |                       |       |                 |  |
| Corr. / Lote de Produção | 279,4      | 301     | 487                      | 40                    |       |                 |  |
| 32230-0009770551         |            |         |                          |                       |       |                 |  |





|                                  |  |             |               |
|----------------------------------|--|-------------|---------------|
| <b>CERTIFICADO DE INSPEÇÃO</b>   |  | <b>Nº.:</b> | <b>Folha:</b> |
| (De acordo com DIN EN 10204 3.1) |  | 005011122   | 2 / 2         |



Certificamos que este material foi produzido e inspecionado de acordo com todas as exigências destas normas e especificações e todos os resultados considerados satisfatórios. Este Certificado é processado por sistema informatizado e é válido sem assinatura.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DE QUALIDADE

FAX: (11) 2233-2857

e-mail: [controle@vambros.com.br](mailto:controle@vambros.com.br)

DATA

20/11/2010

ALUMINUM TUBES (LTD.) S.A.

FL. 02/03 - OK Tubos de Alumínio 6061-T6 - São Paulo - SP - com aço, cujo processo de produção utiliza o carvão vegetal com fonte de energia Este carvão é oriundo de mais de 100.000 ha de florestas plantadas pela VAM. A qualidade é monitorada e registrada em todos os pontos de produção e armazenagem. O produto é certificado por sistema informatizado e é válido sem assinatura.

**ANEXO III - CERTIFICADO DO CONSUMIVEL ER80S-B2****CERTIFICADO DA QUALIDADE  
WERKSZEUGNIS / WORKS CERTIFICATE**

Certificado emitido por processamento de dados conforme EN 10.204-2.2

|                                            |         |                                      |                               |         |
|--------------------------------------------|---------|--------------------------------------|-------------------------------|---------|
| Certificado<br>Werkszeugnis<br>Certificate | 336.277 | Pedido No<br>Auftrag Nr<br>Order No. | Corrida<br>Charge<br>Heat No. | 247.788 |
|--------------------------------------------|---------|--------------------------------------|-------------------------------|---------|

Empresa MONTCALM MONTAGENS INDUSTRIAIS S/A.

Firma  
Firm

Material BOEHLER DCMS IG-B 3,2  
 Werkstoff AWS A5.28/5.28M:05 ER 80S-B2  
 Material ASME 5.28/5.28M:07 ER 80S-B2 A:2008

Fatura 28.311  
 Rechnungs - Nr  
 Invoice No. 1080,000

**ANÁLISE QUÍMICA %**

| C     | Si    | Mn    | Cr    | Ni    | Mo    | P     | S     | Cu    |   |   |   |   |   |   |   |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,100 | 0,440 | 0,480 | 1,290 | 0,040 | 0,460 | 0,007 | 0,010 | 0,220 | - | - | - | - | - | - | - |
|       |       |       |       |       |       |       |       |       |   |   |   |   |   |   |   |
|       |       |       |       |       |       |       |       |       |   |   |   |   |   |   |   |

**ENSAIOS MECÂNICOS**

Limite Elástico  
 Streckgrenze  
 Yield Strength

470 MPa

Resistencia à Tração  
 Zugfestigkeit  
 Tensile Strength

550 MPa

Alongamento  
 Dehnung  
 Elongation

19 %

Resistencia ao Impacto  
 Kerbschlagarbeit  
 Impact

Dureza  
 Härte  
 Hardness

São Paulo, 22 de DEZEMBRO de 2.010

Inspeccionado em...: AGOSTO /2.010

Outros elementos: O total não excede 0,50 por cento.

RADIOGRAFIA: O produto atende aos requisitos da norma.

Impresso por computador, válido sem assinatura

CQ-063/REV.04-09/2007

00023 00000

**Böhler Técnica de Soldagem Ltda.**

Consulta Técnica: 0800-119002

Site: www.btwbr.com.br

Sistema de garantia da qualidade certificado para ISO 9001-2000 pelo BRTUV

## **ANEXO IV - CERTIFICADO DO GÁS ARGÔNIO INDUSTRIAL**

*White Martins Gases Industriais Ltda  
Laboratório de Gases Especiais – Osasco  
Av. dos Antonovistas, 4332  
Osasco – São Paulo – CEP 06100-015  
Telefone: (11) 7085-7729 – Fax: (11) 7085-7852*

### ***CERTIFICADO DE CONFORMIDADE***

***Produto: ARGÔNIO INDUSTRIAL.***

Certificamos que o produto em epígrafe fornecido pela WHITE MARTINS GASES INDUSTRIAIS LTDA., foi produzido de acordo com as normas aplicáveis e atende as especificações :

Pureza Mínima 99,996 %  
O<sub>2</sub> < 7 ppm  
N<sub>2</sub> < 15 ppm

**ANTONIO LUIZ DI GIORGIO**  
Gerente de Controle de Qualidade de Gases Especiais - Osasco  
White Martins Gases Industriais Ltda.  
Tel.: (11) 3685-7750  
Fax.: (11) 3685-7852

**TELEFONE DE EMERGÊNCIA : 0800 21 8471**

## ANEXO V - CATALOGO LINCOLN INVERTEC 270S

STICK/TIG WELDERS

### NEW! Invertec® V270-S

Ready-to-weld™ Stick Package

The Invertec® V270-S Stick and Lift TIG welder has been designed and manufactured using the latest digital inverter technology, combining both a rugged industrial construction with excellent arc characteristics. The lightweight but solid build of this machine makes it suitable for operation on site in conjunction with a generator or within a workshop environment, providing maximum flexibility.

The professional welder will appreciate the many advanced features including the built-in 'Hot Start' and adjustable 'Arc Force' control that enable easy arc striking and smooth welding with most types of electrodes.

The Invertec® V270-S features 'Lift TIG' as standard which enables the welder to start the TIG arc by lifting the tungsten electrode from the work piece without tungsten contamination or the need for HF ignition. For added safety the Invertec® V270-S comes with a built-in VRD (voltage reducing device) increasing operator safety in environments with increased hazard of electric shock.

The standard machine is equipped with a digital meter showing the presettable welding current, actual welding current or voltage during welding. The optional remote control allows fine adjustments during welding.

The high duty cycle of the machine supports continuous welding with a wide variety of electrode types such as Rutile, Basic and even Cellulosic.

The Invertec® V270-S is ideal for on-site applications in conjunction with a generator, contractors, light sheet metal, stainless tank work, maintenance / repair and rural.



#### Advantage Lincoln

- Excellent arc characteristics, for a wide range of electrode types
- Maximum output of 270 amps
- Welding capabilities of Rutile, Basic and Cellulose electrodes
- Built-in VRD
- Infinitely variable "Arc Force" and "Hot Start" features
- Features "Lift TIG" with no tungsten contamination
- Full featured and user-friendly control panel
- Digital display allows precise setting of welding current
- Weighing only 13.5 kg, the V270-S is both lightweight and portable
- Built-In Fan-on-Demand™ reduces power consumption and minimises dust intake
- Rugged case design for portability and impact resistance
- Recessed controls and connections designed to eliminate damage
- Input voltage compensation
- Thermostatic overload protection
- Two Year Warranty

#### Processes

Stick TIG

#### Stick Package V270S-PKG

- Invertec® V270-S power source (K12022-2)
- KIT 230 Stick kit
- 3 metre input lead



#### Order

V270S-PKG

Invertec® V270-S Ready-to-weld™ Stick Package

#### TECHNICAL SPECIFICATIONS

| Product Name        | Part Number | Input Voltage  | Rated Output<br>Current/Voltage/Duty Cycle | Input Current @<br>Rated Output | Rec. Generators<br>@ max output | Output Range                 | Dimensions<br>H x W x D mm | Net Weight<br>kg |
|---------------------|-------------|----------------|--------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------|----------------------------|------------------|
| Invertec®<br>V270-S | V270S-PKG   | 415V<br>(slow) | 270A @ 35%<br>200A @ 100%                  | 20A                             | 10KVA                           | 5 - 270A<br>Max OCV : 48V DC | 385 x 215 x 480            | 13.5             |

**LINCOLN**  
**ELECTRIC**  
THE WELDING EXPERTS®

Publication J3.60A (05/09)  
www.lincolnelectric.com.au

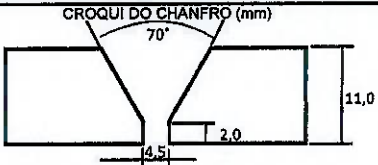




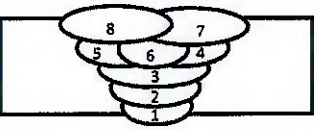
## ANEXO VIII - RELATÓRIO DE ACOMPANHAMENTO DE SOLDAGEM DO CP1

FOR-SOL-013-rev.0

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |  |                                                                                            |  |                |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--------------------------------------------------------------------------------------------|--|----------------|--|
|                                                                                                                                                                                                                               |  | <b>RELATÓRIO DE ACOMPANHAMENTO DE SOLDAGEM</b><br>QUALIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM |  | Nº RAS:<br>CP1 |  |
| EMPRESA: PECE / USP - Especialização em Engenharia de Soldagem<br>SOLDADOR/OPERADOR DE SOLDAGEM: Clóves Antonio Agustavo<br>PROCESSO DE SOLDAGEM: GTAW<br>ESPECIFICAÇÃO DO METAL DE BASE 1: ASTM A335 Gr P11 SCH 80 (Esp 10,97 mm)<br>ESPECIFICAÇÃO DO METAL DE BASE 2: ASTM A335 Gr P11 SCH 80 (Esp 10,97 mm) |  | LOCAL: São Paulo - SP<br>SINETE: NA<br>N° RQPS: NA<br>CP: NA<br>CP: NA                     |  |                |  |



CROQUI DO CHANFRO (mm)



CROQUI DA SEQUÊNCIA DE PASSES

POSIÇÃO SOLD.: 1G - Girando      PROG.: NA

| Nº DO PASSE | Nº DA CAMADA | ELETRODO |           |     | LARG. | TIPO CORR./POLARID. | CORRENTE (A) | TENSÃO (V) | COMPR. SOLDADO (cm) | TEMPO (min) | VELOC. (cm/min) | ENERG. SOLD. (KJ/cm) | TEMPERAT. DE PRÉ-AQUEC. (°C) | VELOCIDADE DO ARAME (m/min) |
|-------------|--------------|----------|-----------|-----|-------|---------------------|--------------|------------|---------------------|-------------|-----------------|----------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 1           | 1            | ER80S-B2 | DCMS-IG-B | 3,2 | 7     | CC-                 | 155          | 12,0       | 45,9                | 8,68        | 5,3             | 22                   | 25                           | NA                          |
| 2           | 2            | ER80S-B2 | DCMS-IG-B | 3,2 | 9     | CC-                 | 173          | 15,0       | 47,7                | 7,37        | 6,5             | 24                   | 66                           | NA                          |
| 3           | 3            | ER80S-B2 | DCMS-IG-B | 3,2 | 10    | CC-                 | 185          | 15,0       | 49,4                | 6,23        | 6,0             | 28                   | 83                           | NA                          |
| 4           | 4            | ER80S-B2 | DCMS-IG-B | 3,2 | 8     | CC-                 | 185          | 15,0       | 51,1                | 5,88        | 8,7             | 19                   | 76                           | NA                          |
| 5           | 4            | ER80S-B2 | DCMS-IG-B | 3,2 | 11    | CC-                 | 185          | 15,0       | 51,1                | 7,48        | 6,8             | 24                   | 90                           | NA                          |
| 6           | 4            | ER80S-B2 | DCMS-IG-B | 3,2 | 11    | CC-                 | 178          | 15,0       | 51,1                | 6,75        | 7,6             | 21                   | 110                          | NA                          |
| 7           | 6            | ER80S-B2 | DCMS-IG-B | 3,2 | 12    | CC-                 | 187          | 14,0       | 52,8                | 7,52        | 7,0             | 20                   | 128                          | NA                          |
| 8           | 6            | ER80S-B2 | DCMS-IG-B | 3,2 | 12    | CC-                 | 187          | 14,0       | 52,8                | 7,17        | 7,4             | 19                   | 98                           | NA                          |

Horário de início de soldagem: 08:34  
 Horário de término de soldagem: 11:51  
 Tempo total interrupções: 00:35  
 Tempo total da soldagem: 02:42  
 Tempo de arco aberto: 0:59

**OBSERVAÇÕES:**  
 GÁS TOCHA: Argônio Industrial 99,996%      TIPO GÁS UTILIZADO: Inerte      VAZÃO: 10 l/min      COBRE JUNTA: Sem  
 GÁS DE PURGA: NA      TIPO GÁS UTILIZADO: NA      VAZÃO: NA      BQCAL: n° 6, Ø 8,0 mm  
 ESPESURA DEPOSITADA POR PROCESSO: 11,0 mm  
 ELETRODO DE TUNG.: EWTh-2, Ø 2,4mm  
 CORRIDA METAL BASE 1: V & M do Brasil n° 32230 cert. n°50414122      CORRIDA CONSUMÍVEL 1: Bohler n° 247.788  
 CORRIDA METAL BASE 2: V & M do Brasil n° 32230 cert. n°50414122      CORRIDA CONSUMÍVEL 2:  
 MATERIAIS DE END:  
 Líquido Penetrante: NA      Revelador: NA      Removador: NA  
 INSTRUMENTOS UTILIZADOS:  
 Alicate Amp. AF-45138; Bômetro AF-13399; Tãmetro infr. AF-42318; Peguimetro AF-25661; Gabarito de solda FBTS AF-44842; Cronômetro AF-31225

LIMPEZA INICIAL: Escovado  
 LIMPEZA INTERPASSOS: Escova / Esmalhadeira  
 GOIVAGEM: NA

INSPEÇÃO VISUAL (ASME IX/10 - QW-194)  
☒ SATISFATÓRIO    ☐ NÃO SATISFATÓRIO

IDENTIFICAÇÃO INSPETOR DE SOLDAGEM:  
 Edgard Rodrigues da Silva SNOCC-164124 N1

DATA: 12/02/13

# ANEXO IX - RELATÓRIO DE ACOMPANHAMENTO DE SOLDAGEM

## DO CP2

| montcalm                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |              | RELATÓRIO DE ACOMPANHAMENTO DE SOLDAGEM<br>QUALIFICAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM        |            | Nº RAS:<br>CP2                                                         |             |                       |              |            |                     |             |                 |                      |                              |                             |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------------|--------------|------------|---------------------|-------------|-----------------|----------------------|------------------------------|-----------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |              |                                                                                            |            | FOLHA:<br>01/01                                                        |             |                       |              |            |                     |             |                 |                      |                              |                             |
| EMPRESA: PECE / USP - Especialização em Engenharia de Soldagem<br>SOLDADOR/OPERADOR DE SOLDAGEM: Clóves Antonio Agustavo<br>PROCESSO DE SOLDAGEM: GTAW<br>ESPECIFICAÇÃO DO METAL DE BASE 1: ASTM A335 Gr P11 SCH 80 (Esp 10,97 mm)<br>ESPECIFICAÇÃO DO METAL DE BASE 2: ASTM A335 Gr P11 SCH 80 (Esp 10,97 mm) |              |                                                                                            |            | LOCAL: São Paulo - SP<br>SINETE: NA<br>Nº RQPS: NA<br>CP: NA<br>CP: NA |             |                       |              |            |                     |             |                 |                      |                              |                             |
| CROQUI DO CHANFRO (mm)                                                                                                                                                                                                                                                                                         |              | CROQUI DA SEQUÊNCIA DE PASSES                                                              |            |                                                                        |             |                       |              |            |                     |             |                 |                      |                              |                             |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |              |                                                                                            |            |                                                                        |             |                       |              |            |                     |             |                 |                      |                              |                             |
| POSIÇÃO SOLD.: 1G - Gírande                                                                                                                                                                                                                                                                                    |              | PROG.: NA                                                                                  |            |                                                                        |             |                       |              |            |                     |             |                 |                      |                              |                             |
| Nº DO PASSE                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Nº DA CAMADA | CLAS. AVS                                                                                  | NOME COML. | DIAM. (mm)                                                             | LARG. PASSE | TIPO CORR. / POLARID. | CORRENTE (A) | TENSÃO (V) | COMPR. SOLDADO (cm) | TEMPO (min) | VELOC. (cm/min) | ENERG. SOLD. (kJ/cm) | TEMPERAT. DE PRÉ-AQUEC. (°C) | VELOCIDADE DO ARAME (m/min) |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 1            | ER80S-B2                                                                                   | DCMS-IG-B  | 3,2                                                                    | 6           | CC-                   | 120          | 11,0       | 45,9                | 11,42       | 4,0             | 20                   | 28                           | NA                          |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 2            | ER80S-B2                                                                                   | DCMS-IG-B  | 3,2                                                                    | 10          | CC-                   | 168          | 12,0       | 47,7                | 7,72        | 6,2             | 20                   | 70                           | NA                          |
| 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 3            | ER80S-B2                                                                                   | DCMS-IG-B  | 3,2                                                                    | 13          | CC-                   | 183          | 12,0       | 49,4                | 8,55        | 6,8             | 23                   | 101                          | NA                          |
| 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 4            | ER80S-B2                                                                                   | DCMS-IG-B  | 3,2                                                                    | 12          | CC-                   | 185          | 12,0       | 51,1                | 9,82        | 5,4             | 25                   | 98                           | NA                          |
| 5                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 4            | ER80S-B2                                                                                   | DCMS-IG-B  | 3,2                                                                    | 12          | CC-                   | 185          | 12,0       | 51,1                | 9,82        | 5,4             | 25                   | 124                          | NA                          |
| 6                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 4            | ER80S-B2                                                                                   | DCMS-IG-B  | 3,2                                                                    | 14          | CC-                   | 185          | 12,0       | 52,8                | 8,80        | 6,0             | 20                   | 115                          | NA                          |
| 7                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 5            | ER80S-B2                                                                                   | DCMS-IG-B  | 3,2                                                                    | 14          | CC-                   | 165          | 12,0       | 52,8                | 7,43        | 7,1             | 17                   | 128                          | NA                          |
| Horário de início da soldagem                                                                                                                                                                                                                                                                                  |              | 08:15                                                                                      |            |                                                                        |             |                       |              |            |                     |             |                 |                      |                              |                             |
| Horário de término da soldagem                                                                                                                                                                                                                                                                                 |              | 12:05                                                                                      |            |                                                                        |             |                       |              |            |                     |             |                 |                      |                              |                             |
| Tempo total interrupções                                                                                                                                                                                                                                                                                       |              | 00:24                                                                                      |            |                                                                        |             |                       |              |            |                     |             |                 |                      |                              |                             |
| Tempo total da soldagem                                                                                                                                                                                                                                                                                        |              | 03:26                                                                                      |            |                                                                        |             |                       |              |            |                     |             |                 |                      |                              |                             |
| Tempo de arco aberto                                                                                                                                                                                                                                                                                           |              | 0:53                                                                                       |            |                                                                        |             |                       |              |            |                     |             |                 |                      |                              |                             |
| OBSERVAÇÕES:                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |              |                                                                                            |            |                                                                        |             |                       |              |            |                     |             |                 |                      |                              |                             |
| GÁS TOCHA: Argônio Industrial 99,996% TIPO GÁS UTILIZADO: Inerte VAZÃO: 10 l/min COBRE JUNTA: Sem                                                                                                                                                                                                              |              |                                                                                            |            |                                                                        |             |                       |              |            |                     |             |                 |                      |                              |                             |
| GÁS DE PURGA: NA TIPO GÁS UTILIZADO: NA VAZÃO: NA BOCAL: nº 5, Ø 8,0 mm                                                                                                                                                                                                                                        |              |                                                                                            |            |                                                                        |             |                       |              |            |                     |             |                 |                      |                              |                             |
| ESPESSURA DEPOSITADA POR PROCESSO: 11,0 mm                                                                                                                                                                                                                                                                     |              |                                                                                            |            |                                                                        |             |                       |              |            |                     |             |                 |                      |                              |                             |
| CORRIDA METAL BASE 1: V & M do Brasil nº 32230 cert. nº 50414122                                                                                                                                                                                                                                               |              |                                                                                            |            |                                                                        |             |                       |              |            |                     |             |                 |                      |                              |                             |
| CORRIDA METAL BASE 2: V & M do Brasil nº 32230 cert. nº 50414122                                                                                                                                                                                                                                               |              |                                                                                            |            |                                                                        |             |                       |              |            |                     |             |                 |                      |                              |                             |
| CORRIDA CONSUMÍVEL 1: Bohler nº 247.788                                                                                                                                                                                                                                                                        |              |                                                                                            |            |                                                                        |             |                       |              |            |                     |             |                 |                      |                              |                             |
| CORRIDA CONSUMÍVEL 2:                                                                                                                                                                                                                                                                                          |              |                                                                                            |            |                                                                        |             |                       |              |            |                     |             |                 |                      |                              |                             |
| MATERIAIS DE END:                                                                                                                                                                                                                                                                                              |              |                                                                                            |            |                                                                        |             |                       |              |            |                     |             |                 |                      |                              |                             |
| Líquido Penetrante: NA Revelador: NA Removedor: NA                                                                                                                                                                                                                                                             |              |                                                                                            |            |                                                                        |             |                       |              |            |                     |             |                 |                      |                              |                             |
| INSTRUMENTOS UTILIZADOS:                                                                                                                                                                                                                                                                                       |              |                                                                                            |            |                                                                        |             |                       |              |            |                     |             |                 |                      |                              |                             |
| Alcate Amp. AF-45136; Bômetro AF-13309; Termômetro Inf. AF-42318; Paquímetro AF-25901; Gabarito de solda FBTS AF-44842; Cronômetro AF-31226                                                                                                                                                                    |              |                                                                                            |            |                                                                        |             |                       |              |            |                     |             |                 |                      |                              |                             |
| LIMPEZA INICIAL: Escovado                                                                                                                                                                                                                                                                                      |              | INSPEÇÃO VISUAL (ASME IX/10 - QW-194)                                                      |            |                                                                        |             |                       |              |            |                     |             |                 |                      |                              |                             |
| LIMPEZA INTERPASSES: Escova / Esmerilhadeira                                                                                                                                                                                                                                                                   |              | <input checked="" type="checkbox"/> SATISFATÓRIO <input type="checkbox"/> NÃO SATISFATÓRIO |            |                                                                        |             |                       |              |            |                     |             |                 |                      |                              |                             |
| GONFAGEM: NA                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |              |                                                                                            |            |                                                                        |             |                       |              |            |                     |             |                 |                      |                              |                             |
| IDENTIFICAÇÃO INSPEÇÃO DE SOLDAGEM:                                                                                                                                                                                                                                                                            |              |                                                                                            |            |                                                                        |             |                       |              |            |                     |             |                 |                      |                              |                             |
| Edgard Rodrigues da Silva SNQC-IG4124 N1                                                                                                                                                                                                                                                                       |              |                                                                                            |            |                                                                        |             |                       |              |            |                     |             |                 |                      |                              |                             |
| DATA: 13/02/13                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |              |                                                                                            |            |                                                                        |             |                       |              |            |                     |             |                 |                      |                              |                             |

**ANEXO X - RELATÓRIO DE ENSAIOS DE MACRGRAFIA E****DUREZA DO CP1****Relatório de Ensaio**

REL: 0684/13

Laboratório de Ensaio Acreditado pela CGCRE de acordo com a ABNT NBR  
ISO/IEC 17025, sob o Nº CRL 0387

Página 1 de 2

LABORATÓRIO DE ENSAIO PERTENCENTE À REDE BRASILEIRA DE LABORATÓRIOS DE ENSAIOS – RBLE

Solicitante / Interessado: EDGARD RODRIGUES DA SILVA

Endereço: E-mail: [edgard.rodrigues@montcalm.com.br](mailto:edgard.rodrigues@montcalm.com.br) – Tel: (11) 99675-8580**Informações Fornecidas Pelo Solicitante:**

Pedido do Solicitante / Interessado .....Carta de solicitação de ensaios

Aplicação .....Experimento de soldagem do material P11 (CP-01)

Norma(s) de Referência .....ASME IX, 2010 e Addenda 2011a / ASME B31.1-2001

Metal de Base / Metal de Adição .....ASTMA 355 Grau P11 / ER80S-B2

Dimensões da Peça de Teste .....Ø 6" SCH 80 (Ø 165,30 x 10,97 mm)

EPS.....

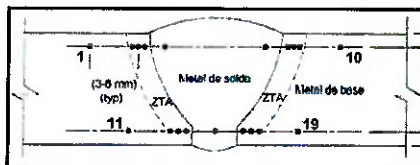
Processo de Soldagem .....GTAW

Posição de Soldagem .....1G (Girando)

Data da Soldagem .....

Soldador / Operador.....Cioves Antonio

Sinete.....

**1 - DUREZA HV 10****- DU 0**

| Metal Base | ZTA |     |     | Solda |     | ZTA |     |     | Metal Base |
|------------|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-----|------------|
| 1          | 2   | 3   | 4   | 5     | 6   | 7   | 8   | 9   | 10         |
| 176        | 176 | 228 | 236 | 274   | 254 | 284 | 284 | 245 | 176        |
| Metal Base | ZTA |     |     | Solda |     | ZTA |     |     | Metal Base |
| 11         | 12  | 13  | 14  | 15    | 16  | 17  | 18  | 19  | 19         |
| 181        | 213 | 213 | 213 | 206   | 213 | 245 | 213 | 181 | 181        |

**- DU 1**

| Metal Base | ZTA |     |     | Solda |     | ZTA |     |     | Metal Base |
|------------|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-----|------------|
| 1          | 2   | 3   | 4   | 5     | 6   | 7   | 8   | 9   | 10         |
| 165        | 176 | 193 | 254 | 285   | 264 | 264 | 183 | 165 | 170        |
| Metal Base | ZTA |     |     | Solda |     | ZTA |     |     | Metal Base |
| 11         | 12  | 13  | 14  | 15    | 16  | 17  | 18  | 19  | 19         |
| 176        | 206 | 221 | 221 | 206   | 228 | 206 | 206 | 176 | 176        |

**- DU 2**

| Metal Base | ZTA |     |     | Solda |     | ZTA |     |     | Metal Base |
|------------|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-----|------------|
| 1          | 2   | 3   | 4   | 5     | 6   | 7   | 8   | 9   | 10         |
| 176        | 176 | 176 | 254 | 284   | 264 | 254 | 206 | 170 | 165        |
| Metal Base | ZTA |     |     | Solda |     | ZTA |     |     | Metal Base |
| 11         | 12  | 13  | 14  | 15    | 16  | 17  | 18  | 19  | 19         |
| 181        | 221 | 228 | 236 | 236   | 228 | 221 | 221 | 176 | 176        |

TEAM LAB – Tecnologia em Ensaios e Análises de Materiais  
Rua Dr. Pelágio Marques, 51 – Vila Matilde – São Paulo – SP – CEP: 03512-010  
[www.teamlab.com.br](http://www.teamlab.com.br) – Telefone: 2537-9007 / 2537-9009 / 2082-3408 / 2082-3415 / 2082-3399

REL Revisão 02 / F02-18

*[Assinatura]*  
Cioves Antonio  
Assinatura Autorizada



# Relatório de Ensaio

REL: 0684/13

Laboratório de Ensaio Acreditado pela CGCRE de acordo com a ABNT NBR  
ISO/IEC 17025, sob o N° CRL 0387

Página 2 de 2

- DU.3

| Metal Base | ZTA |     |     | Solda |     | ZTA |     |     | Metal Base |
|------------|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-----|------------|
| 1          | 2   | 3   | 4   | 5     | 6   | 7   | 8   | 9   | 10         |
| 160        | 228 | 284 | 264 | 254   | 285 | 238 | 221 | 170 | 160        |
| Metal Base | ZTA |     |     | Solda |     | ZTA |     |     | Metal Base |
| 11         | 12  | 13  | 14  | 15    |     | 16  | 17  | 18  | 19         |
| 187        | 206 | 206 | 213 | 199   |     | 228 | 228 | 221 | 193        |

• Incerteza de Medição (U) = +/- 14 HV 10

Preparação .....ASTM E 3 - 07 / N-133K - 2005, Figura 1

Método de Ensaio .....ASTM E 92 - 08

Critério de Aceitação.....Informativo

Máquina de Ensaio

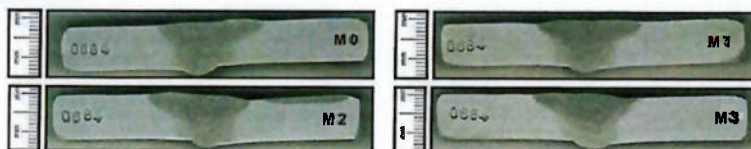
Identificação.....TL-022

Certificado de Calibração.....8450/11

Data de Validade.....15 / 09 / 13

Entidade Emissora.....Quality Control

## 2 – MACROGRAFIA



Reagente Utilizado.....Nital 10%

Inspeção Visual.....Aumento de 10 vezes

Ampliação.....0,6: 1

| Identificação | Lado | Reforço (mm) |        | Identificação e dimensões das descontinuidades detectadas |
|---------------|------|--------------|--------|-----------------------------------------------------------|
|               |      | Largura      | Altura |                                                           |
| M 0           | Face | 24           | 1,0    | Falta de fusão entre passes                               |
|               | Raiz | 9,0          | 1,5    |                                                           |
| M 1           | Face | 26           | 1,0    | Isento de descontinuidades                                |
|               | Raiz | 8,0          | 1,5    |                                                           |
| M 2           | Face | 25           | 1,0    | Isento de descontinuidades                                |
|               | Raiz | 6,0          | 1,0    |                                                           |
| M 3           | Face | 23           | 1,0    | Isento de descontinuidades                                |
|               | Raiz | 10           | 1,5    |                                                           |

Preparação .....QW-183

Método do Ensaio .....QW-183

Critério de Aceitação.....Informativo

- ✓ Este relatório atende aos requisitos de acreditação pela CGCRE, que avaliou a competência do laboratório e comprovou sua rastreabilidade a padrões nacionais de medida.
- ✓ Os ensaios foram realizados nas condições ambientais: (21 +/- 1) °C
- ✓ A incerteza expandida declarada é baseada em uma incerteza padrão combinada, multiplicada pelo fator de abrangência k=2, fornecendo um nível de confiança de aproximadamente 95%. A incerteza padrão de medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.
- ✓ Os resultados apresentados neste relatório têm significação restrita às amostras ensaiadas, não sendo extensivo a qualquer lote. É proibida a reprodução parcial deste relatório.

Ensaio realizado em 19 de Fevereiro de 2013.

Emissão de relatório em 19 de Fevereiro de 2013

José Batista Damasceno  
Signatário Autorizado

Eng. José de Deus Brito  
Signatário Autorizado

TEAM LAB – Tecnologia em Ensaios e Análises de Materiais  
Rua Dr. Pelágio Marques, 51 – Vila Matilde – São Paulo – SP – CEP: 03612-010  
www.teamlab.com.br - Telefone: 2537-9007 / 2537-9009 / 2082-3408 / 2082-3416 / 2082-3389

REL Revisão 02 / F02-16

# ANEXO XI - RELATÓRIO DE ENSAIOS DE MACROGRÁFIA E DUREZA DO CP2



## Relatório de Ensaio

REL: 0685/13

Laboratório de Ensaio Acreditado pela CGCRE de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o Nº CRL 0387

Página 1 de 2

LABORATÓRIO DE ENSAIO PERTENCENTE À REDE BRASILEIRA DE LABORATÓRIOS DE ENSAIOS – RBLE

Solicitante / Interessado: EDGARD RODRIGUES DA SILVA

Endereço: E-mail: edgard.rodrigues@montcalm.com.br – Tel: (11) 99675-8560

## Informações Fornecidas Pelo Solicitante:

Pedido do Solicitante / Interessado .....Carta de solicitação de ensaios

Aplicação .....Experimento de soldagem do material P11 (CP-02)

Norma(s) de Referência .....ASME IX: 2010 e Addenda 2011a / ASME B31.1-2001

Metal de Base / Metal de Adição .....ASTM A 355 Grau P11 / ER80S-B2

Dimensões da Peça de Teste .....Ø 6" SCH 80 (Ø 168,30 x 10,97 mm)

EPS.....-

Processo de Soldagem .....GTAW

Posição de Soldagem .....1G (Girando)

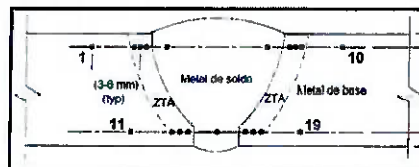
Data da Soldagem .....-

Soldador / Operador.....Cloves Antonio

Sinete.....-



## 1 - DUREZA HV 10



## - DU 0

| Metal Base | ZTA |     |     | Solda |     | ZTA |     |     | Metal Base |
|------------|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-----|------------|
| 1          | 2   | 3   | 4   | 5     | 6   | 7   | 8   | 9   | 10         |
| 160        | 206 | 221 | 264 | 264   | 264 | 264 | 228 | 181 | 160        |
| Metal Base | ZTA |     |     | Solda |     | ZTA |     |     | Metal Base |
| 11         | 12  | 13  | 14  | 15    | 16  | 17  | 18  | 19  | 19         |
| 199        | 206 | 206 | 206 | 206   | 228 | 221 | 221 | 199 | 199        |

## - DU 1

| Metal Base | ZTA |     |     | Solda |     | ZTA |     |     | Metal Base |
|------------|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-----|------------|
| 1          | 2   | 3   | 4   | 5     | 6   | 7   | 8   | 9   | 10         |
| 170        | 193 | 236 | 264 | 254   | 254 | 221 | 187 | 170 | 170        |
| Metal Base | ZTA |     |     | Solda |     | ZTA |     |     | Metal Base |
| 11         | 12  | 13  | 14  | 15    | 16  | 17  | 18  | 19  | 19         |
| 170        | 199 | 199 | 206 | 193   | 206 | 206 | 206 | 187 | 187        |

## - DU 2

| Metal Base | ZTA |     |     | Solda |     | ZTA |     |     | Metal Base |
|------------|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-----|------------|
| 1          | 2   | 3   | 4   | 5     | 6   | 7   | 8   | 9   | 10         |
| 160        | 176 | 238 | 245 | 254   | 254 | 264 | 236 | 181 | 160        |
| Metal Base | ZTA |     |     | Solda |     | ZTA |     |     | Metal Base |
| 11         | 12  | 13  | 14  | 15    | 16  | 17  | 18  | 19  | 19         |
| 181        | 213 | 213 | 213 | 193   | 206 | 213 | 213 | 176 | 176        |

TEAM LAB – Tecnologia em Ensaios e Análises de Materiais  
 Rua Dr. Pelegio Marques, 51 – Vila Marckle – São Paulo – SP – CEP: 03512-010  
[www.teamlab.com.br](http://www.teamlab.com.br) – Telefones: 2537-9007 / 2537-9000 / 2082-3406 / 2082-3415 / 2082-3399

REL Revisão 02 / F02-15

*Assinatura*  
 Engº José de Deus Brito  
 Signatário Autorizado



# Relatório de Ensaio

REL: 0685/13

Laboratório de Ensaio Acreditado pela CGCRE de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o Nº CRL 0387

Página 2 de 2

- DU 3

| Metal Base | ZTA |     |     | Solda |     | ZTA |     |     | Metal Base |
|------------|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-----|------------|
| 1          | 2   | 3   | 4   | 5     | 6   | 7   | 8   | 9   | 10         |
| 165        | 199 | 236 | 245 | 236   | 254 | 254 | 221 | 181 | 165        |
| Metal Base | ZTA |     |     | Solda |     | ZTA |     |     | Metal Base |
| 11         | 12  | 13  | 14  | 15    | 16  | 17  | 18  | 19  | 19         |
| 176        | 206 | 206 | 206 | 236   | 236 | 236 | 221 | 221 | 181        |

\* Incerteza de Medição (U) = +/- 14 HV 10

Preparação ..... ASTM E 3 - 07 / N-133K - 2005, Figura 1

Método de Ensaio ..... ASTM E 92 - 08

Critério de Aceitação ..... Informativo

Máquina de Ensaio

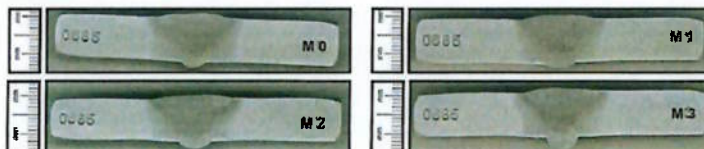
Identificação ..... TL-022

Certificado de Calibração ..... 8450/11

Data de Validade ..... 15 / 09 / 13

Entidade Emissora ..... Quality Control

## 2 - MACROGRAFIA



Reagente Utilizado ..... Nital 10%

Inspeção Visual ..... Aumento de 10 vezes

Ampliação ..... 0,8. 1

| Identificação | Lado | Reforço (mm) |        | Identificação e dimensões das descontinuidades detectadas |
|---------------|------|--------------|--------|-----------------------------------------------------------|
|               |      | Largura      | Altura |                                                           |
| M 0           | Face | 20           | 1,0    | Isento de descontinuidades                                |
|               | Raiz | 6,0          | 1,5    |                                                           |
| M 1           | Face | 20           | 1,0    | Isento de descontinuidades                                |
|               | Raiz | 8,0          | 1,5    |                                                           |
| M 2           | Face | 20           | 1,0    | Isento de descontinuidades                                |
|               | Raiz | 8,0          | 2,0    |                                                           |
| M 3           | Face | 20           | 1,0    | Isento de descontinuidades                                |
|               | Raiz | 8,0          | 3,0    |                                                           |

Preparação ..... QW-183

Método do Ensaio ..... QW-183

Critério de Aceitação ..... Informativo

- ✓ Este relatório atende aos requisitos de acreditação pela CGCRE, que avaliou a competência do laboratório e comprovou sua rastreabilidade a padrões nacionais de medida.
- ✓ Os ensaios foram realizados nas condições ambientais: (21 +/- 1) °C
- ✓ A incerteza expandida declarada é baseada em uma incerteza padrão combinada, multiplicada pelo fator de abrangência k=2, fornecendo um nível de confiança de aproximadamente 95%. A incerteza padrão de medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.
- ✓ Os resultados apresentados neste relatório têm significação restrita às amostras ensaiadas, não sendo extensivo a qualquer lote. É proibida a reprodução parcial deste relatório.

Ensaio realizado em 19 de Fevereiro de 2013.

Emissão de relatório em 19 de Fevereiro de 2013

José Batista Demasceno  
Signatário Autorizado

José de Deus Brito  
Supervisor Autorizado

TEAM LAB – Tecnologia em Ensaios e Análises de Materiais  
Rua Dr. Pelágio Marques, 51 – Vila Matilde – São Paulo – SP – CEP: 03512-010  
[www.teamlab.com.br](http://www.teamlab.com.br) – Telefone: 2537-9007 / 2537-9009 / 2082-3406 / 2082-3415 / 2082-3399

REL Revisão 02 / F02-16

Prof. Dr. Sergio Duarte Brandi  
Agradeço muito pelo curso  
Realmente foi um curso muito  
importante da minha vida  
Fico a disposição para ajudar  
com recursos para a realização  
de novos trabalhos

Obrigado

Edgerd Rodrigues de S. Lr.

edgerd.rodrigues@montezuma.com.br  
" 5585 6200