

UNESP

Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

DIEGO DE SOUZA ALMEIDA

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE
PROCESSO DE SOLDAGEM MIG NO SURGIMENTO DE POROS
EM TUBOS DE ALUMÍNIO**

**Guaratinguetá
2012**

DIEGO DE SOUZA ALMEIDA

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE
PROCESSO DE SOLDAGEM MIG NO SURGIMENTO DE POROS
EM TUBOS DE ALUMÍNIO**

Trabalho de Graduação
apresentado ao Conselho de
Curso de Graduação em
Engenharia Mecânica da
Faculdade de Engenharia do
Campus de Guaratinguetá,
Universidade Estadual
Paulista, como parte dos
requisitos para obtenção do
diploma de Graduação em
Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Ângelo Caporalli Filho

Guaratinguetá
2012

A447a	Almeida, Diego de Souza Avaliação da influência dos parâmetros de processo de soldagem MIG no surgimento de poros em tubos de alumínio / Diego de Souza Almeida – Guaratinguetá : [s.n], 2012. 66 f : il. Bibliografia: f. 59 Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2012. Orientador: Prof. Dr. Angelo Caporalli Filho 1. Soldagem 2. Alumínio I. Título CDU 621.791
-------	---

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE
PROCESSO DE SOLDAGEM MIG NO SURGIMENTO DE
POROS EM TUBOS DE ALUMÍNIO**

DIEGO DE SOUZA ALMEIDA

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE
DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE "GRADUADO EM
ENGENHARIA MECÂNICA"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. ANTONIO WAGNER FORTI
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. ANGELO CAPORALI FILHO
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. MARCELINO PEREIRA DO NASCIMENTO
UNESP-FEG


Eng. GUSTAVO BARTELEGA DE CASTRÔ RODRIGUES
Membro Externo

Dezembro de 2012

DADOS CURRICULARES

DIEGO DE SOUZA ALMEIDA

NASCIMENTO	12.11.1987 – SÃO BENTO DO SAPUCAÍ / SP
FILIAÇÃO	Benedito Rubens de Almeida Ondina Ribeiro de Souza Almeida
2006/2012	Curso de Graduação UNESP/FEG – Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá

de modo especial, ao meu pai (in memoriam), que apesar de toda a dificuldade sempre me mostrou que eu devia seguir em frente, com humildade e perseverança, vencendo, a cada dia, os problemas impostos pela vida.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço à minha mãe *Ondina* e aos meus irmãos *Maurício*, *Elisângela* e *Geraldo*, que sempre me apoiaram e me deram força para que eu pudesse chegar onde estou nesse momento;

Ao meu orientador, *Prof. Ângelo*, que me auxiliou na confecção desse trabalho;

Aos colegas, *Derick Gallo* e *André Kuniyoshi*, que me ajudaram a obter o embasamento teórico para confecção deste trabalho;

Aos colegas de trabalho, *Juninho*, *Antoine* e *Moseli*, por sua dedicação e empenho, ajudando-me com seus conhecimentos e na obtenção dos dados experimentais;

Aos meus amigos das repúblicas *Iglu* e *WCKzona* que nesses anos estiveram presentes nos bons e nos maus momentos, proporcionando experiências inesquecíveis.

"Não sabendo que era impossível, foi lá e fez"

Jean Cocteau

ALMEIDA, D. S. Avaliação da influência dos parâmetros de processo de soldagem mig no surgimento de poros em tubos de alumínio. 2012. 66 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

RESUMO

O processo de soldagem por arco elétrico com gás de proteção (GMAW) vem sendo usado cada vez mais em diversas aplicações industriais. Esse processo se dá por um arco elétrico que é estabelecido entre a peça e um consumível na forma de arame; o arco funde continuamente o arame à medida que este é alimentado à poça de fusão. O metal de solda é protegido da atmosfera pelo fluxo de um gás (ou mistura de gases) inerte ou ativo. Neste trabalho é apresentado um estudo do processo de soldagem GMAW – MIG em tubos de alumínio, da liga 6101 – T6, utilizados na fabricação de barramentos blindados, destinados à condução elétrica em usinas geradoras de energia. Foram soldados 5(cinco) corpos de prova, mudando determinados parâmetros de soldagem, em cada um deles foi monitorado o tempo de soldagem da junta, assim como a temperatura para interpasse. Foram efetuados testes de dobra, tração e análise macrográfica dos corpos-de-prova e através dos seus resultados foi possível chegar a uma melhor condição de soldagem, que minimize o aparecimento de poros, já que a porosidade tem grande influência na resistência mecânica e na condutibilidade elétrica dos tubos soldados.

PALAVRAS CHAVE: soldagem, alumínio, MIG, parâmetros, poros.

ALMEIDA, D. S. **Evaluation of the influence of process parameters mig welding the appearance of pores in aluminum tubes.** 2012. 66 f. Work Graduation (Graduation in Mechanical Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

ABSTRACT

The process of electric arc welding with shielding gas (GMAW) is being increasingly used in various industrial applications. This process occurs by which an electric arc is established between the work piece and a consumable in the form of wire, the arc melts the wire continuously as it is fed to the weld pool. The weld metal is protected from the atmosphere by flowing a gas (or gas mixture) inert or active. This paper presents a study of the welding process GMAW - MIG on aluminum tubes, alloy 6101 - T6, used in the manufacture of armored busbar, intended for driving electric power plants. 5(five) were welded specimens, changing certain welding parameters at each time was monitored welding joint as well as the interpass temperature. Tests were performed bending, tensile and macrographical analysis of body-of-evidence and through its results was possible to reach a better welding condition, which minimizes the appearance of pores, since the porosity has great influence on the mechanical strength and electrical conductivity of welded pipes.

KEYWORDS: welding, aluminum, MIG, parameters, pores.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 OBJETIVO.....	16
1.2 JUSTIFICATIVA.....	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1 O ALUMÍNIO E SUAS CARACTERÍSTICAS.....	17
2.1.1 PROPRIEDADES FÍSICAS DO ALUMÍNIO.....	17
2.1.2 PROPRIEDADES QUÍMICAS DO ALUMÍNIO.....	19
2.1.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS.....	19
2.1.4 SOLDABILIDADE.....	19
2.2 O ALUMÍNIO E SUAS LIGAS.....	20
2.2.1 LIGAS TRABALHÁVEIS.....	21
2.2.2 – LIGAS FUNDIDAS.....	22
2.2.3 – LIGA 6101/T6.....	22
2.3 SOLDAGEM.....	23
2.3.1 BREVE HISTÓRICO DA SOLDAGEM.....	23
2.3.2 FORMAÇÃO DA JUNTA SOLDADA.....	25
2.3.3 PROCESSOS DE SOLDAGEM POR FUSÃO.....	28
2.3.4 SOLDAGEM GMAW.....	29
2.3.5 PROCESSO DE SOLDAGEM MIG.....	33
2.3.6 PROCESSO DE SOLDAGEM MIG PULSANTE.....	34
2.3.7 DESCONTINUIDADES EM JUNTAS SOLDADAS.....	35
2.3.7.1 TRINCAS.....	36
2.3.7.2 FALTA DE PENETRAÇÃO.....	36
2.3.7.3 FALTA DE FUSÃO.....	37
2.3.7.4 MORDEDURA.....	37
2.3.7.4 POROSIDADE.....	37
3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	40
3.1 CORPO-DE-PROVA “E”	41
3.2 CORPO-DE-PROVA “B”	43

3.3 CORPO-DE-PROVA “C”	44
3.4 CORPO-DE-PROVA “A”	46
3.5 CORPO-DE-PROVA “D”	47
4. RESULTADOS.....	49
4.1 CORPO-DE-PROVA “E”	49
4.2 CORPO-DE-PROVA “B”	51
4.3 CORPO-DE-PROVA “C”	53
4.4 CORPO-DE-PROVA “A”	54
4.5 CORPO-DE-PROVA “D”	56
5. DISCUSSÕES.....	57
6. CONCLUSÕES.....	58
REFERÊNCIAS.....	59
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	59
ANEXOS.....	59
ANEXO I – EPS AS 571 1Z.....	60
ANEXO II – RELATÓRIO DE ENSAIO CORPO-DE-PROVA “E”	62
ANEXO III – RELATÓRIO DE ENSAIO CORPO-DE-PROVA “B”	63
ANEXO IV – RELATÓRIO DE ENSAIO CORPO-DE-PROVA “C”	64
ANEXO V – RELATÓRIO DE ENSAIO CORPO-DE-PROVA “A”	65
ANEXO VI – RELATÓRIO DE ENSAIO CORPO-DE-PROVA “D”	66

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Sistema para soldagem a arco com eletrodo de carvão de acordo com a patente de Bernados.....	25
FIGURA 2 - Variação de energia potencial para um sistema composto de dois átomos em função da distância de separação entre eles.....	26
FIGURA 3 - Formação teórica de uma solda pela aproximação das superfícies das peças.....	27
FIGURA 4 - Representação esquemática da superfície metálica limpa.....	27
FIGURA 5 - Soldagem por pressão ou deformação.....	28
FIGURA 6 - Representação esquemática da solda por fusão e macrografia de uma junta.....	28
FIGURA 7 - Esquema da soldagem GMAW.....	30
FIGURA 8 - Equipamento para soldagem GMAW.....	32
FIGURA 9 - Diagrama esquemático do processo MIG.....	33
FIGURA 10 - Macrografia mostrando a presença de porosidade na forma esférica num cordão de solda em AlSi.....	40
FIGURA 11 - Porosidade vermicular com direção e crescimento da raiz para o reforço.....	41
FIGURA 12 - Desenho do tubo utilizado para a soldagem.....	42
FIGURA 13 - Corpo-de-prova “E”.....	42
FIGURA 14 - Detalhe do cordão de solda do corpo-de-prova “E”.....	43
FIGURA 15 - Corpo-de-prova “B”.....	43
FIGURA 16 - Detalhe do cordão de solda do corpo-de-prova “B”.....	44
FIGURA 17 - Corpo-de-prova “C”.....	45
FIGURA 18 - Detalhe do cordão de solda do corpo-de-prova “C”.....	45
FIGURA 19 - Corpo-de-prova “A”.....	46
FIGURA 20 - Detalhe do cordão de solda do corpo-de-prova “A”.....	47
FIGURA 21 - Corpo-de-prova “D”.....	48
FIGURA 22 - Detalhe do cordão de solda do corpo-de-prova “D”.....	48
FIGURA 23 - Corpos-de-prova soldados.....	49
FIGURA 24 - Ensaio de dobra no corpo-de-prova “E”.....	50
FIGURA 25 - Ensaio de tração no corpo-de-prova “E”.....	50
FIGURA 26 - Análise visual dos poros no corpo-de-prova “E”.....	51
FIGURA 27 - Ensaio de dobra no corpo-de-prova “B”.....	51
FIGURA 28 - Ensaio de tração no corpo-de-prova “B”.....	52

FIGURA 29 - Análise visual dos poros no corpo-de-prova “B”	52
FIGURA 30 - Ensaio de dobra no corpo-de-prova “C”	53
FIGURA 31 - Ensaio de tração no corpo-de-prova “C”	53
FIGURA 32 - Análise visual dos poros no corpo-de-prova “C”	54
FIGURA 33 - Ensaio de dobra no corpo-de-prova “A”	54
FIGURA 34 - Ensaio de tração no corpo-de-prova “A”	55
FIGURA 35 - Análise visual dos poros no corpo-de-prova “A”	55
FIGURA 36 - Ensaio de dobra no corpo-de-prova “D”	56
FIGURA 37 - Ensaio de tração no corpo-de-prova “D”	56
FIGURA 38 - Análise visual dos poros no corpo-de-prova “D”	57

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Propriedades físicas de vários materiais.....	18
TABELA 2 - Designação das ligas trabalháveis por grupos.....	21
TABELA 3 - Designação das ligas fundidas por grupos.....	22
TABELA 4 - Processos de soldagem por fusão.....	29
TABELA 5 - Vantagens, limitações e aplicações do processo GMAW.....	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EPS	Especificação padrão de soldagem
IEIS	Instruções de Execução e Inspeção de Soldagem
GMAW	Gas Metal Arc Welding
MIG	Metal Inert Gas
MAG	Metal Active Gas
IACS	International Annealed Copper Standard
ASME	American Society of Mechanical Engineers
AA	Aluminum Association
AWS	American Welding Society

1 INTRODUÇÃO

Os processos de soldagem são fortemente empregados nas indústrias de equipamentos para geração de energia. A soldagem é considerada um processo especial que, em função da complexidade da construção soldada, requer métodos de controle os quais podem abranger as atividades de projeto, de seleção de materiais, de fabricação e de inspeção, com a finalidade de garantir que a qualidade especificada seja atingida.

Na execução de projetos de montagem, visando a atender às especificações de projeto e garantir a qualidade dos serviços, as operações de soldagem são realizadas em observância estrita às Instruções de Execução e Inspeção de Soldagem (IEIS) e às Especificações de Procedimentos de Soldagem (EPS) nas quais são definidos todos os parâmetros da operação como corrente de soldagem, processo, metal de base, especificação do consumível a ser utilizado, gás de proteção, velocidade de soldagem, entre outros.

Para melhor entendimento da influência dos parâmetros de operação no aparecimento de poros em juntas de alumínio, o presente estudo deu foco na influência do pré-aquecimento da junta antes de efetuar a soldagem, no monitoramento de interpasse ao efetuar-se a soldagem e na velocidade de soldagem dos tubos.

1.1 OBJETIVO

O propósito deste trabalho é analisar quais parâmetros de soldagem influenciam no aparecimento de poros no processo GMAW (MIG) em tubos de alumínio 6101-T6 e após o conhecimento dos parâmetros influentes na ocorrência dessas discontinuidades, estabelecer, de forma teórica e em conformidade com as normas técnicas específicas, procedimentos que reduzam essas ocorrências.

1.2 JUSTIFICATIVA

A qualidade final de qualquer produto fabricado está diretamente ligada a qualidade dos processos de soldagem empregados. Neste caso, o grande aparecimento de poros nas juntas soldadas leva em discussão a integridade mecânica do equipamento fabricado e também a sua condutibilidade elétrica.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O ALUMÍNIO E SUAS CARACTERÍSTICAS

O alumínio é um material que se destaca pelo conjunto de suas propriedades, pois, além de seu apelo estético singular, apresenta baixa densidade, alta resistência à corrosão, alta condutibilidade térmica e elétrica, boa tenacidade, alta resistência a baixas temperaturas e excelente conformabilidade. A adição de elementos de liga ao alumínio permite o desenvolvimento de outras propriedades interessantes – como a alta resistência mecânica, por exemplo – que ampliam ainda mais seu aspecto de aplicação (WHITE MARTINS, 2002).

Quando se associa a crescente demanda de produtos de maior qualidade e durabilidade aos requisitos de redução de consumo e preservação do meio ambiente, o alumínio e suas ligas aparecem como alternativas bastante atrativas. O uso desses materiais, principalmente em substituição ao aço e ao ferro fundido, permite a redução do peso do componente, a redução das perdas por corrosão e o aumento do potencial de reciclagem. O considerável crescimento do consumo desses materiais ao longo dos últimos anos é um bom indicador dessa tendência (WHITE MARTINS, 2002).

2.1.1 PROPRIEDADES FÍSICAS DO ALUMÍNIO

- DENSIDADE

A densidade é uma das mais conhecidas características físicas do alumínio e a mais interessante do ponto de vista da engenharia. Como mostra a Tabela 1, a densidade do alumínio é a menor de todos os materiais listados, exceto o magnésio. Esse baixo valor faz com que o alumínio possa competir com outros metais, em base de peso, mesmo quando estes apresentam melhores propriedades em base volumétrica. A menor densidade do alumínio, quando comparada com o aço, não tem nenhuma ligação direta com a soldagem. Entretanto, a maior facilidade no manuseio das lâminas antes e após a soldagem é uma vantagem significativa que deve ser levada em consideração (ALCAN ALUMÍNIO DO BRASIL S/A, 1993).

- CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

A condutividade elétrica difere de metal para metal e no alumínio de liga para liga. A Tabela 1 mostra que, para os metais mais comuns, o cobre tem mais alta condutividade. O alumínio comercialmente puro é o mais próximo, com 60% do valor do padrão internacional do cobre (IACS). Ainda assim, apesar do condutor de alumínio precisar de 1,67 vezes da área de seção transversal de um condutor equivalente de cobre, o seu peso é somente metade do valor deste último, devido a sua densidade ser aproximadamente um terço se comparada com a do cobre. Este é um exemplo de que modo duas propriedades – baixa densidade e alta condutividade – proporcionam ao alumínio uma vantagem sobre os outros materiais, e explica

a razão do seu uso crescente em setores de transmissão e distribuição de energia elétrica (ALCAN ALUMÍNIO DO BRASIL S/A, 1993).

- CONDUTIVIDADE TÉRMICA

É uma das mais altas encontradas nos metais, a tabela 1 mostra que a condutividade térmica do alumínio é metade em relação à do cobre e aproximadamente cinco vezes a do aço.

- PONTO DE FUSÃO

O ponto de fusão do alumínio é 660°C, mas torna-se menor quando elementos de liga são adicionados. A Tabela 1 mostra a comparação entre os pontos de fusão dos materiais usuais.

- CALOR ESPECÍFICO

O calor específico de um material é a quantidade de calor requerida para elevar sua temperatura. Define-se como a quantidade de calor necessária para produzir um dado aumento de temperatura em um dado peso de um material comparado com a quantidade de calor requerida para produzir a mesma variação de temperatura no mesmo peso de água (ALCAN ALUMÍNIO DO BRASIL S/A, 1993).

O calor específico do alumínio é 940 J/Kg.°C, como mostra a Tabela 1, que também fornece o calor específico de outros materiais.

- CALOR LATENTE DE FUSÃO

O calor latente de fusão é o calor absorvido quando uma substância passa do estado sólido para o estado líquido sem acréscimo de temperatura. No alumínio o calor latente de fusão é pequeno comparado a outros fatores (ALCAN ALUMÍNIO DO BRASIL S/A, 1993).

TABELA 1 – Propriedades físicas de vários materiais (ALCAN ALUMÍNIO DO BRASIL S/A, 1993)

PROPRIEDADES	SI	ALUMÍNIO	COBRE	BRONZE 6538	AÇO	AÇO INOX 304	MAGNÉSIO
Densidade	Kg/m ³	2700	8925	8430	7800	7880	1740
Condutividade Elétrica	% I.A.C.S.	62	100	27	10	2	38
Condutividade Térmica a 25°C	W/(m.°C)	222	394	117	46	21	159
Coeficiente de Expansão Linear	1/°C	23,6X10 ⁻⁶	16,5X10 ⁻⁶	20,3X10 ⁻⁶	12,6X10 ⁻⁶	16,2X10 ⁻⁶	25,8X10 ⁻⁶
Calor Específico Médio 0 - 100°C	J/(Kg.°C)	940	376	368	496	490	1022
Calor Latente de Fusão	KJ/Kg	388	212	-	272	-	372
Ponto de Fusão	°C	660	1083	930	1350	1426	651
Módulo de Elasticidade (E)	MPa	69X10 ³	110X10 ³	103X10 ³	200X10 ³	200X10 ³	45X10 ³

2.1.2 PROPRIEDADES QUÍMICAS DO ALUMÍNIO

É característica do alumínio e suas ligas, a formação natural de um filme de óxido (Al_2O_3) sobre a superfície. A espessura do óxido logo no início de sua formação é cerca de $15\text{\AA}$ (1,5 nm), mas a taxa de crescimento subsequente decresce de modo que a espessura de óxido normal fica em torno de $25 - 50\text{\AA}$ (2,5 – 5,0 nm). Embora a camada de óxido seja extremamente fina, ela é suficiente para proteger o metal contra o ataque dos mais diversos meios corrosivos. Isso explica a excelente resistência à corrosão apresentada pelo alumínio e suas ligas. Essa resistência pode ser aumentada por meio de anodização, que é um crescimento artificial dessa camada de óxido (ALCAN ALUMÍNIO DO BRASIL S/A, 1993).

2.1.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS

O alumínio puro é um metal que apresenta uma resistência mecânica relativamente baixa, mas ductilidade elevada. Entretanto, por meio de adição de um ou mais elementos de liga, a sua resistência mecânica pode ser substancialmente elevada, embora mantenha os valores de ductilidade bastante aceitáveis.

Como a maioria dos metais, o alumínio perde sua resistência em temperaturas elevadas. Muitas aplicações são projetadas com base nas propriedades das ligas em temperatura ambiente, embora alguns códigos tal como, seção VIII do ASME, reduzam os valores de tensão admissíveis de projeto com o aumento da temperatura. Em baixas temperaturas a resistência do alumínio aumenta sem perda de ductilidade, ou seja, sua tenacidade não diminui com o abaixamento de temperatura; sendo essa a razão do seu uso mais crescente em aplicações criogênicas (ALCAN ALUMÍNIO DO BRASIL S/A, 1993).

2.1.4 SOLDABILIDADE

Para uma melhor compreensão dos efeitos das propriedades físicas, químicas e mecânicas na soldabilidade do alumínio, é feita uma comparação com o aço.

A condutividade térmica exerce uma grande influência na soldabilidade, pois ela é quase cinco vezes maior no alumínio que no aço. Isto significa que o alumínio necessita de um fornecimento de calor, cerca de cinco vezes maior que no aço, para uma mesma massa elevar sua temperatura localmente. Na prática, isto significa o uso de uma fonte de calor com maior intensidade para que a soldagem seja bem sucedida.

Numa primeira análise, devido ao ponto de fusão do alumínio ser menor do que no aço, pode parecer que o calor requerido para soldar o alumínio é menor do que o requerido pelo aço. Entretanto a alta condutividade térmica do alumínio compensa esta diferença na temperatura de fusão; e, de fato, o alumínio necessita de pelo menos tanto quanto ou provavelmente mais calor do que o aço para ser soldado. A alta condutividade térmica, o alto

coeficiente de expansão linear e a necessidade de maior aporte de calor poderão causar consideráveis distorções durante a soldagem, se não forem utilizadas velocidades de trabalhos mais altas possíveis quando da soldagem do alumínio com fontes de calor mais intensas (ALCAN ALUMÍNIO DO BRASIL S/A, 1993).

Uma vantagem da alta condutividade térmica do alumínio, sob o ponto de vista do soldador, é que ela proporciona uma rápida solidificação da poça de solda, tornando a soldagem do alumínio mais rápida que a do aço (ALCAN ALUMÍNIO DO BRASIL S/A, 1993).

2.2 O ALUMÍNIO E SUAS LIGAS

O alumínio comercialmente puro é um metal que combina um conjunto de propriedades expressivas – leveza, alta ductilidade, boa resistência à corrosão e excelentes condutividades térmica e elétrica. Entretanto, o alumínio puro apresenta baixa resistência mecânica para aplicações estruturais e, dessa forma, a maioria dos produtos de alumínio são obtidos a partir de uma liga, a fim de atingir as propriedades desejadas. A maior parte dessas ligas são soluções sólidas de uma ou mais elementos metálicos dissolvidos na matriz de alumínio. Essas soluções têm suas propriedades aumentadas por deformação plástica a frio (encruamento) ou por tratamento térmico.

Os elementos de liga principais são: cobre(Cu), magnésio(Mg), manganês(Mn), silício(Si) e zinco(Zn). Outros elementos são adicionados em quantidades menores, agindo como refinadores de grão, ou para produzir propriedades especiais. Um grupo adicional de elementos indesejáveis, encontrado nas ligas de alumínio em quantidades desprezíveis, não apresenta efeito benéfico e é considerado impureza.

Em face da infinidade de ligas de alumínio e suas têmperas, uma classificação das ligas foi desenvolvida pela “*Aluminum Association*” (AA), que atualmente é seguida por toda América do Norte e por muitos outros países do mundo. A norma brasileira que classifica as ligas de alumínio é a NBR 6834, que é compatível com a publicada pela *Aluminum Association* (ALCAN ALUMÍNIO DO BRASIL S/A, 1993).

Dependendo de como são produzidas, as ligas de alumínio são divididas em dois grandes grupos:

- Ligas Trabalháveis
- Ligas Fundidas

2.2.1 LIGAS TRABALHÁVEIS

As ligas trabalháveis são aquelas em que a forma final do produto é conseguida através de transformações de um semimanufaturado (lâmina, chapa, folha, perfil, vergalhão, forjado),

obtido também por transformação mecânica a frio ou a quente de um tarugo ou placa produzida pela solidificação de um metal líquido.

Os processos mais comuns de transformação dos semimanufaturados são: laminação, extrusão, trefilação e forjamento. Para identificar as ligas de alumínio trabalháveis utiliza-se um sistema de números de quatro dígitos. O primeiro da designação serve para indicar o grupo da liga de acordo com o elemento químico (ou elementos) que comparece em maior teor na composição da liga.

Os dois últimos dígitos identificam a liga do alumínio ou a pureza do alumínio. O segundo dígito indica modificações na liga original ou nos limites de impurezas (ALCAN ALUMÍNIO DO BRASIL S/A, 1993).

A Tabela 2 mostra a divisão das ligas trabalháveis por grupos.

Tabela 2 – Designação das ligas trabalháveis por grupos (ALCAN ALUMÍNIO DO BRASIL S/A, 1993)

LIGA ABNT (NBR6834)	PRINCIPAL ELEMENTO QUÍMICO DA LIGA
1XXX	Alumínio não-ligado de no mínimo 99,00% de pureza
2XXX	Cobre
3XXX	Manganês
4XXX	Silício
5XXX	Magnésio
6XXX	Magnésio e Silício
7XXX	Zinco
8XXX	Outros Elementos
9XXX	Série não utilizada

2.2.2 – Ligas Fundidas

As ligas fundidas são aquelas cujos produtos são obtidos por meio do vazamento do metal líquido em um molde para adquirir a forma desejada. Da mesma maneira que as ligas trabalháveis, também se utiliza um sistema de quatro dígitos para identificar o alumínio na forma de fundidos. O primeiro dígito indica o grupo da liga. Os dois dígitos seguintes indicam

a liga ou pureza do alumínio. O último dígito, que está separado dos outros por um ponto indica que o produto está sob a forma de lingote ou peças (ALCAN ALUMÍNIO DO BRASIL S/A, 1993).

A Tabela 3 mostra a divisão das ligas fundidas por grupos.

Tabela 3 – Designação das ligas fundidas por grupos (ALCAN ALUMÍNIO DO BRASIL S/A, 1993)

LIGA ABNT (NBR6834)	PRINCIPAL ELEMENTO QUÍMICO DA LIGA
1XX.X	Alumínio não-ligado de no mínimo 99,00% de pureza
2XX.X	Cobre
3XX.X	Silício com adições de Cobre e/ou Magnésio
4XX.X	Silício
5XX.X	Magnésio
6XX.X	Série não utilizada
7XX.X	Zinco
8XX.X	Estanho
9XX.X	Outros Elementos

2.2.3 – Liga 6101/T6

A liga de alumínio 6101 é uma liga trabalhável que possui como principais elementos químicos o magnésio e o silício. A liga 6101 é adequada para aplicações envolvendo moderada resistência e máxima condutividade elétrica. Essa liga está disponível em várias condições de têmperas. A ampla variedade de têmperas proporciona diferentes resistências, conformabilidades e níveis de condutividade elétrica que permite a flexibilidade do *design*.

A Liga 6101 é facilmente extrudada, oferece boa soldabilidade, resistência à corrosão, flexibilidade e conformabilidade quando requisitada.

O processo de soldagem GMAW (MIG) estudado neste trabalho será feito em tubos extrudados de alumínio da liga 6101 T6, uma liga tratada termicamente, solubilizada e envelhecida artificialmente (ALCAN ALUMÍNIO DO BRASIL S/A, 1993).

2.3 SOLDAGEM

A soldagem é considerada como um método de união, porém muitos processos de soldagem ou variações destes são usados para a deposição de material sobre uma superfície, visando a recuperação de peças desgastadas ou para a formação de um revestimento com características especiais (MODENESE, 2000).

Algumas definições de soldagem são:

- “Processo de junção de metais por fusão”;
- “Operação que visa obter a união de duas ou mais peças, assegurando, na junta soldada, a continuidade de propriedades físicas, químicas e metalúrgicas”;
- “Operação que visa obter a coalescência localizada produzida pelo aquecimento até uma temperatura adequada, com ou sem aplicação de pressão e de metal de adição” (Definição adotada pela AWS – *American Welding Society*)
- “Processo de união de materiais baseado no estabelecimento, na região de contato entre os materiais sendo unidos, de forças de ligação química de natureza similar às atuantes no interior dos próprios materiais” (MODENESE, 2000).

2.3.1 BREVE HISTÓRICO DA SOLDAGEM

Parte do desenvolvimento que levaria aos métodos de soldagem empregados atualmente teve origem em tempos remotos. É bem possível que a origem dos metais tenha coincidido com a do fogo, tido como descoberto por volta do ano 8000 a.C. Há 5000 anos, na cidade de Ur, Caldéia, uniam-se peças de ouro, considerando o primeiro metal obtido e utilizado, por meio de uma técnica hoje conhecida como solda-brasagem (SENAI, 2002).

O advento do ferro, por volta de 2000 a. C., foi um passo importante para a metalurgia. Descobertas arqueológicas indicam que o início do desenvolvimento do metal deu-se na Mesopotâmia, de onde foi para a China e Índia, e depois para o Egito, Grécia e Roma. Nesse período, o homem começou fabricar utensílios de duas ou mais partes por meio de união por forjamento a quente, colocando uma peça sobre a outra até que se soldassem. Uma das mais antigas notícias que se tem sobre a soldagem remota ao forjamento da espada de Damasco, (1300a.C.) e ao uso de uma espécie de maçarico soprado pela boca, usando álcool ou óleo como combustível: Esta técnica usada pelos egípcios para fundir e soldar bronze, foi transmitida a gregos e romanos (SENAI, 2002).

A soldagem foi usada, na antiguidade e na idade média, para a fabricação de armas e outros instrumentos cortantes. Como o ferro obtido por redução direta tem um teor de carbono muito baixo (inferior a 0,1%), este não pode ser endurecido por têmpera. Por outro lado, o aço, com um teor maior de carbono, era um material escasso e de alto custo, sendo fabricado pela cementação de tiras finas de ferro. Assim, ferramentas eram fabricadas com ferro e com tiras de aço soldadas nos locais de corte e endurecidas por têmpera. Espadas de elevada resistência mecânica e tenacidade foram fabricadas no oriente médio utilizando-se um processo semelhante, no qual tiras alternadas de aço e ferro eram soldadas entre si e deformadas por compressão e torção. O resultado era uma lâmina com uma fina alternância de regiões de alto e baixo teor de carbono (MODENESE, 2000).

Assim, a soldagem foi, durante este período, um processo importante na tecnologia metalúrgica, principalmente, devido a dois fatores: a) a escassez e o alto custo do aço e b) o tamanho reduzido dos blocos de ferro obtidos por redução direta (MODENESE, 2000).

Esta importância começou a diminuir nos séculos XII e XIII com o desenvolvimento de tecnologia para a obtenção, no estado líquido, de grandes quantidades de ferro fundido com a utilização da energia gerada em rodas d'água e, nos séculos XIV e XV, com o desenvolvimento do alto forno. Com isso, a fundição tornou-se um processo importante de fabricação, enquanto o processo de soldagem por forjamento foi substituído por outros processos de união, particularmente a rebitagem e parafusagem, mais adequados para a união das peças produzidas (MODENESE, 2000).

A soldagem permaneceu como um processo secundário de fabricação até o século XIX, quando a sua tecnologia começou a mudar radicalmente, principalmente, a partir das experiências de Sir Humphrey Davy (1801-1806) com o arco elétrico da descoberta do acetileno por Edmund Davy e do desenvolvimento de fontes produtoras de energia elétrica que possibilitaram o aparecimento de processos de soldagem por fusão. Ao mesmo tempo, o início da fabricação e utilização de aço na forma de chapas 24 (vinte e quatro) tornou necessário o desenvolvimento de novos processos de união para a fabricação de equipamentos e estruturas (MODENESE, 2000).

A primeira patente de um processo de soldagem, obtida na Inglaterra por Nikolas Bernados e Stanislav Olszewsky em 1885, foi baseada em um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo de carvão e a peça a ser soldada (Figura 1).

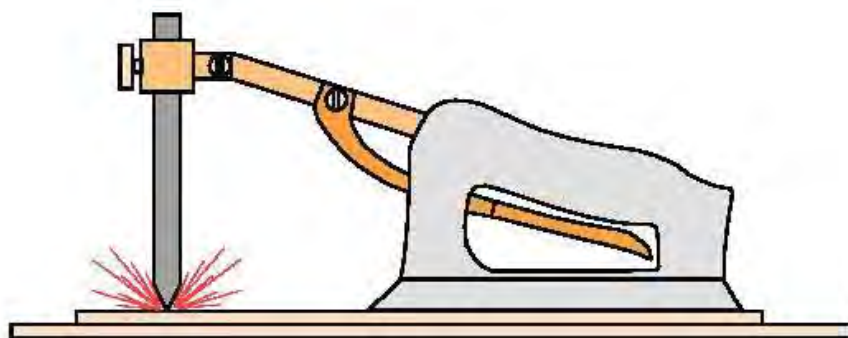


Figura 1 - Sistema para soldagem a arco com eletrodo de carvão de acordo com a patente de Bernados (MODENESE, 2000).

Nesta nova fase, a soldagem teve inicialmente pouca utilização, estando restrita principalmente à execução de reparos de emergência até a eclosão da 1ª Grande Guerra, quando a soldagem passou a ser utilizada mais intensamente como um processo de fabricação.

Atualmente, mais de 50 diferentes processos de soldagem têm alguma utilização industrial e a soldagem é o mais importante método para a união permanente de metais. Esta importância é ainda mais evidenciada pela presença de processos de 25 soldagem nas mais diferentes atividades industriais e pela preocupação em se obter uma boa soldabilidade durante o desenvolvimento de novos tipos de aços e outras ligas metálicas (MODENESE, 2000).

2.3.2 FORMAÇÃO DA JUNTA SOLDADA

Uma peça metálica é formada por um grande número de átomos dispostos em um arranjo especial característico (estrutura cristalina). Átomos localizados no interior desta estrutura são cercados por um número de vizinhos mais próximos, posicionados a uma distância r_0 , na qual a energia do sistema é mínima, como mostrado na Figura 2 (MODENESE, 2000).

Na superfície do sólido, contudo, esta situação não se mantém, pois os átomos estão ligados a menos vizinhos, possuindo, um maior nível de energia do que os átomos no seu interior. Esta energia pode ser reduzida quando os átomos superficiais se ligam a outros. Assim, aproximando-se duas peças metálicas a uma distância suficientemente pequena para a formação de uma ligação permanente, uma solda entre as peças seria formada, como ilustrado na Figura 3. Este tipo de efeito pode ser obtido, por exemplo, colocando-se em contato íntimo dois blocos de gelo (MODENESE, 2000).

Entretanto, sabe-se que isto não ocorre para duas peças metálicas, exceto em condições muito especiais. A explicação para isto está na existência de obstáculos que impedem uma aproximação efetiva das superfícies até distâncias da ordem de r_0 . Estes obstáculos podem ser de dois tipos básicos:

As superfícies metálicas, mesmo as mais polidas, apresentam uma grande rugosidade em escala microscópica e sub-microscópica (Figura 4).

Mesmo uma superfície com um acabamento cuidadoso apresenta irregularidades da ordem 50 nm de altura, cerca de 200 camadas atômicas. Isso impede uma aproximação efetiva das superfícies, o que ocorre em apenas alguns poucos pontos de contato, de modo que o número de ligações formadas é insuficiente para garantir qualquer resistência para a junta (MODENESE, 2000).

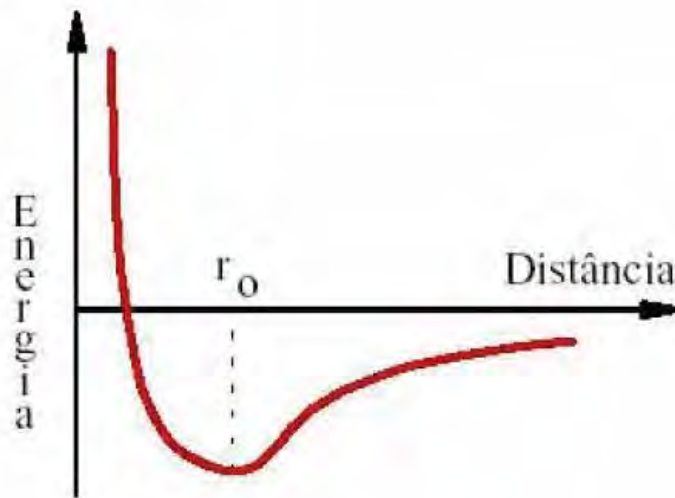


Figura 2 - Variação de energia potencial para um sistema composto de dois átomos em função da distância de separação entre eles. (MODENESE, 2000)

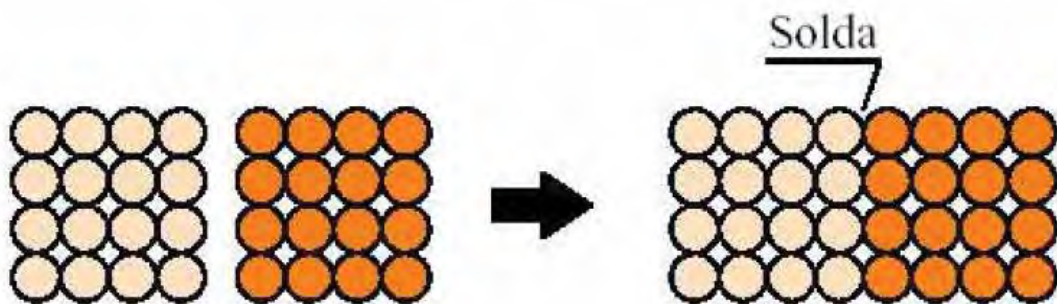


Figura 3 - Formação teórica de uma solda pela aproximação das superfícies das peças. (MODENESE, 2000)

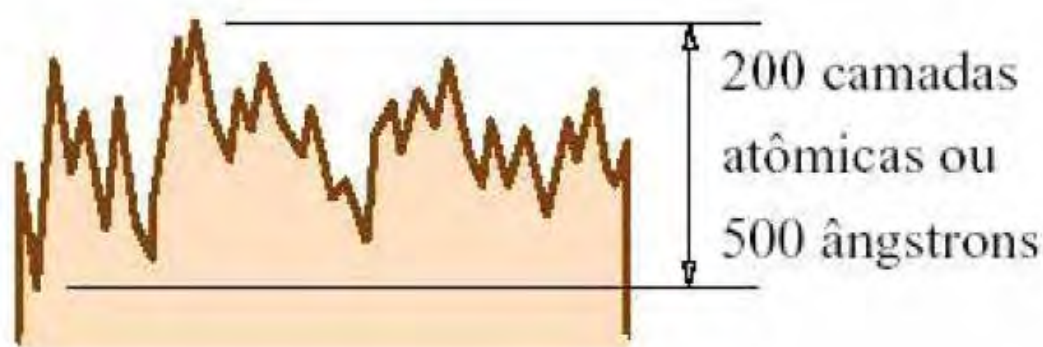


Figura 4 - Representação esquemática da superfície metálica limpa (MODENESE,2000).

As superfícies metálicas estão normalmente recobertas por camadas de óxidos, umidade, gordura, poeira, etc, o que impede um contato real entre as superfícies, prevenindo a formação da solda. Estas camadas se formam rapidamente e resultam exatamente da existência de ligações químicas incompletas na superfície (MODENESE,2000).

Dois métodos principais são utilizados para superar estes obstáculos, os quais originam os dois grandes grupos de processos de soldagem. O primeiro consiste em deformar as superfícies de contato permitindo a aproximação dos átomos a distâncias da ordem de r_0 (Figura 5). As peças podem ser aquecidas localmente de modo a facilitar a deformação das superfícies de contato (MODENESE,2000).

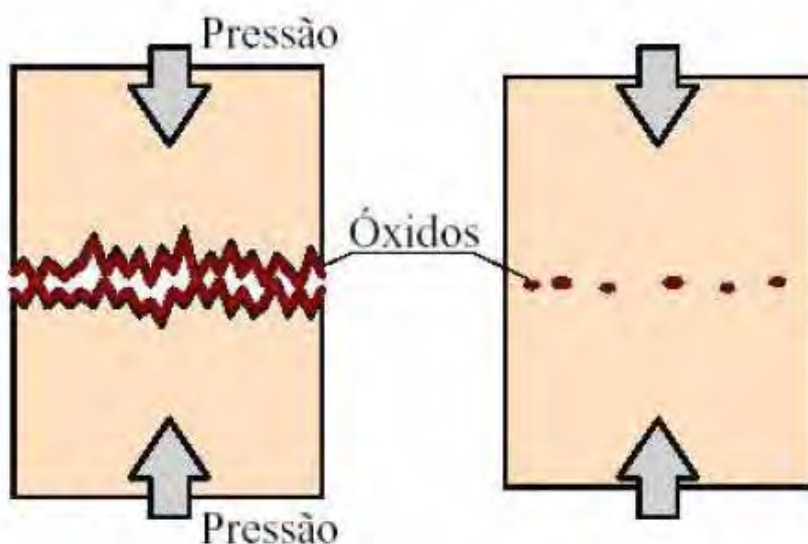


Figura 5 - Soldagem por pressão ou deformação (MODENESE, 2000).

O segundo método se baseia na aplicação localizada de calor na região de união até sua fusão e do metal de adição, destruindo as superfícies de contato e produzindo a união pela solidificação do metal fundido (figura 6).

Assim, uma forma de classificação dos processos de soldagem consiste em agrupá-los em dois grandes grupos, baseando-se no método dominante para produzir a solda: a) processos de soldagem por pressão e b) processos de soldagem por fusão (MODENESE,2000).

No presente trabalho, serão tratados apenas os processos de soldagem por fusão, pois os processos de soldagem por pressão não fazem parte do objetivo do estudo.

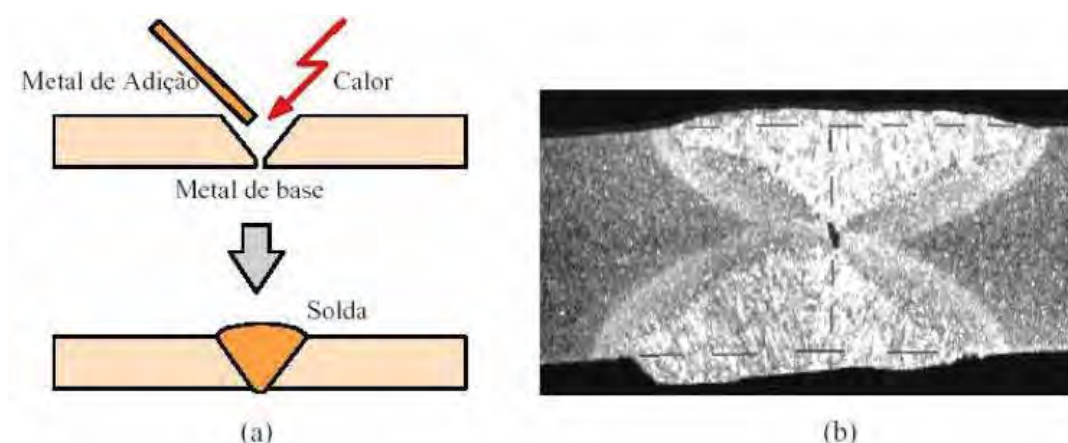


Figura 6: a) Representação esquemática da solda por fusão. b) Macrografia de uma junta (MODENESE,2000).

2.3.3 PROCESSOS DE SOLDAGEM POR FUSÃO

Existe um grande número de processos por fusão que podem ser separados em subgrupos, por exemplo, de acordo com o tipo de fonte de energia usada para fundir as peças. Dentre estes, os processos de soldagem a arco (fonte de energia: arco elétrico) são os de maior importância industrial na atualidade. Devido à tendência de reação do material fundido com os gases da atmosfera, a maioria dos processos de soldagem por fusão utiliza algum meio de proteção para minimizar estas reações (MODENESE, 2000). Na tabela 4 estão mostrados os principais processos de soldagem por fusão utilizados na fabricação de equipamentos e suas características principais:

Tabela 4 – Processos de soldagem por fusão (MODENESE,2000).

PROCESSO	FONTES DE CALOR	TIPO DE CORRENTE E POLARIDADE	AGENTE PROTETOR	OUTRAS CARACTERÍSTICAS	APLICAÇÕES
Soldagem por eletro-escória	Aquecimento por resistência da escória líquida	Contínua ou Alternada	Escória	Automática / Mecanizada. Junta na vertical. Arame alimentado mecanicamente na poça de fusão. Não existe arco.	Soldagem de aço carbono, baixa e alta liga, espessuras ≥ 50 mm. Soldagem de peças de grande espessura
Soldagem a arco submerso	Arco Elétrico	Contínua ou Alternada. Eletrodo +	Escória e gases gerados	Automática / Mecanizada ou semi-automática. O arco arde sob uma camada de fluxo granular	Soldagem de aço carbono, baixa e alta liga. Espessura ≥ 10 mm. Posição plana ou horizontal de peças estruturais, tanques, vasos de pressão, etc
Soldagem com eletrodos revestidos	Arco Elétrico	Contínua ou Alternada. Eletrodo + ou -	Escória e gases gerados	Manual. Vareta recoberta por uma camada de fluxo	Soldagem de quase todos os metais, exceto cobre puro, metais preciosos, reativos e de baixo ponto de fusão. Usado na soldagem em geral.
Soldagem com arame tubular	Arco Elétrico	Contínua. Eletrodo +	Escória e gases gerados ou fornecidos por fonte externa. Em geral o CO_2	O fluxo está contido dentro de um arame tubular de pequeno diâmetro. Automático ou semi-automático	Soldagem de aço carbono com espessuras ≥ 1 mm. Soldagem de chapas
Soldagem MIG/MAG	Arco Elétrico	Contínua. Eletrodo +	Argônio ou Hélio, Argônio + O_2 , Argônio + CO_2 , CO_2	Automática / Mecanizada ou semi-automática. O arame é sólido	Soldagem de aço carbono, baixa e alta liga, não ferrosos, com espessuras ≥ 1 mm. Soldagem de tubos, chapas, etc. Qualquer posição
Soldagem TIG	Arco Elétrico	Contínua ou Alternada. Eletrodo -	Argônio, Hélio ou mistura destes	Manual ou Automática. Eletrodo não consumível de tungstênio. O arame é adicionado separadamente	Soldagem de todos os metais, exceto Zn, Be e suas ligas, espessuras de 1 a 6 mm. Soldagem de não ferrosos e aços inox. Passes de raiz de soldas em tubulações
Soldagem a gás	Chama oxí-acetilênica		Gás (CO , H_2 , CO_2)	Manual. Arame adicionado separadamente	Soldagem manual de aço carbono, Cu, Al, Zn, Pb e bronze. Soldagem de chapas finas e tubos de pequeno diâmetro

2.3.4 SOLDAGEM GMAW

A soldagem a arco Gás-Metal(Gás Metal Arc Welding) é um processo de soldagem a arco que produz a união dos metais pelo seu aquecimento com um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo metálico contínuo(e consumível) e a peça(MODENESE, 2000).

A figura 7 mostra um esquema da soldagem GMAW.

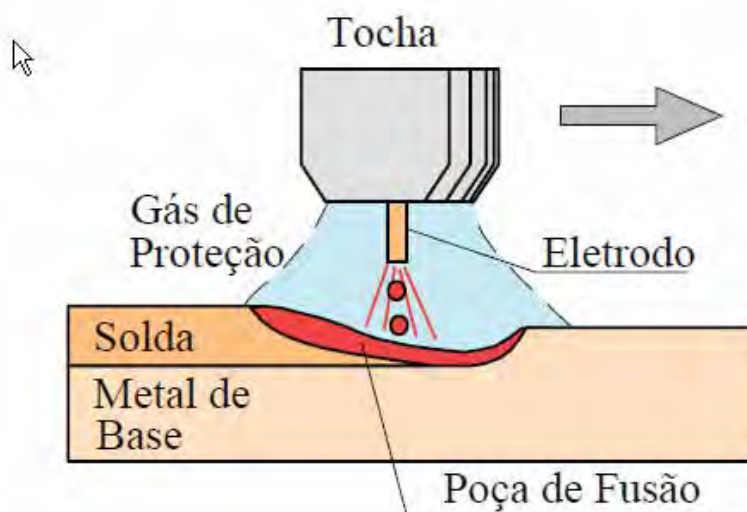


Figura 7 – Esquema da soldagem GMAW (MODENESE,2000).

A proteção do arco e poça de fusão é obtida através de um gás ou mistura de gases. Se este gás é inerte (Ar/He), o processo também é chamado de MIG (*Metal Inert Gas*). Por outro lado, se o gás for ativo (CO_2) ou misturas (Ar/ O_2 / CO_2) o processo é chamado MAG (*metal Active Gas*). Gases inertes puros são usados, em geral, na soldagem de metais e ligas não ferrosas, misturas de gases inertes com pequenas quantidades de gases ativos são usadas, em geral, em aços ligados, enquanto que misturas mais ricas em gases ativos ou CO_2 puro são utilizados na soldagem de aço carbono (MODENESE,2000).

O processo é normalmente operado de forma semi-automática, podendo ser, também, mecanizado ou automatizado. É o processo de soldagem a arco mais utilizado com robôs industriais. Como trabalha com um arame contínuo (o que permite um alto fator de operação do operador) e com elevadas densidades de corrente no eletrodo (elevada taxa de deposição) ele apresenta uma elevada produtividade. Estes aspectos têm levado a uma utilização crescente deste processo em países desenvolvidos, onde o decréscimo do número de soldadores e a necessidade de maior produtividade causaram a substituição da soldagem com eletrodos revestidos em diversas aplicações. A tabela 5 apresenta as principais vantagens, limitações e aplicações do processo GMAW (MODENESE,2000).

Tabela 5 – Vantagens, limitações e aplicações do processo GMAW (MODENESE,2000).

Vantagens e limitações	Aplicações
• Processo com eletrodo contínuo. • Permite soldagem em qualquer posição. • Elevada taxa de deposição de metal. • Elevada penetração. • Pode soldar diferentes ligas metálicas. • Exige pouca limpeza após soldagem. • Equipamento relativamente caro e complexo. • Pode apresentar dificuldade para soldar juntas de acesso restrito. • Proteção do arco é sensível a correntes de ar. • Pode gerar elevada quantidade de respingos.	• Soldagem de ligas ferrosas e não ferrosas. • Soldagem de carrocerias e estruturas de veículos. • Soldagem de tubulações, etc.

O equipamento básico para a soldagem GMAW consiste na fonte de energia, tocha de soldagem, fonte de gás e alimentador (Figura 8). A fonte de energia tem, em geral, uma saída de tensão constante, regulável entre 15 e 50V, que é usada em conjunto com o alimentador de arame de velocidade regulável entre cerca de 1 e 18 m/min. Este sistema ajusta automaticamente o comprimento do arco através de variações da corrente, sendo mais simples que sistemas alternativos. Na soldagem GMAW, utiliza-se praticamente todas as aplicações, corrente contínua com eletrodo ligado ao polo positivo (CC+).

A tocha possui um contato elétrico deslizante (bico de contato), que transmite a corrente elétrica ao arame, orifícios para passagem de gás de proteção, bocal para dirigir o fluxo de gás e interruptor para acionamento do processo. O alimentador é composto basicamente de um motor, sistema de controle de velocidade do motor e rolos de impulsão do arame (MODENESE, 2000).

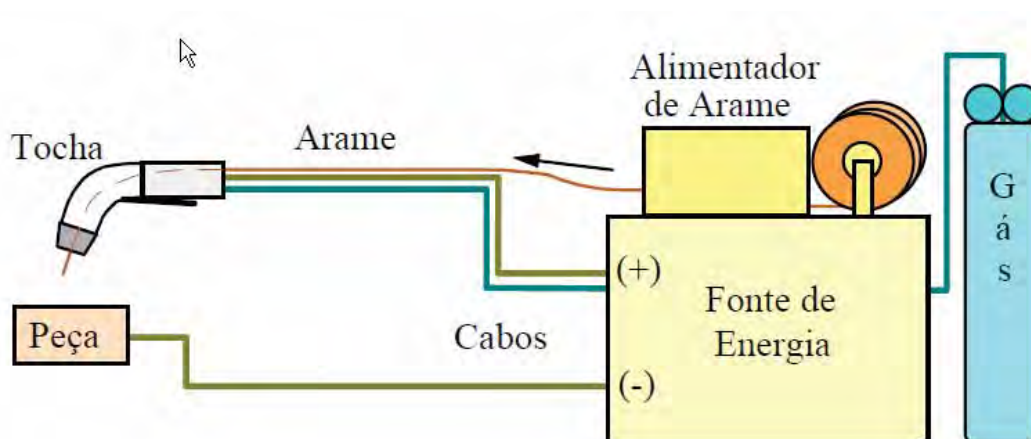


Figura 8 – Equipamento para soldagem GMAW (MODENESE,2000).

Neste processo de soldagem, mais que em qualquer outro, a forma como o metal de adição se transfere do eletrodo para a poça de fusão pode ser controlada e determina varias de suas características operacionais. A transferência do metal através do arco se dá, basicamente, através de três mecanismos: aerosol, globular e curto-circuito, dependendo dos parâmetros operacionais, tais como o nível de corrente, sua polaridade, diâmetro e composição do eletrodo e a composição do gás de proteção. Uma quarta forma (pulsada) é possível com equipamentos especiais.

Na transferência por *Spray*, o metal se transfere como finas gotas sob a ação de forças eletromagnéticas do arco e independente da ação da gravidade. Esta forma de transferência ocorre na soldagem com misturas de proteção ricas em argônio e com valores elevados de corrente. Ela é muito estável e livre de respingos. Infelizmente, a necessidade de correntes elevadas torna difícil, ou impossível, a sua aplicação na soldagem fora da posição plana (a poça de fusão tende a ser muito grande e de difícil controle) ou de peças de pequena espessura (excesso de penetração).

Na transferência globular, o metal de adição se destaca do eletrodo basicamente por ação de peso (gravidade, sendo, portanto, similar a uma torneira gotejando). É típica da soldagem com proteção de CO₂ para tensões mais elevadas e uma ampla faixa de correntes. Na soldagem com misturas ricas em Ar, a transferência globular ocorre com corrente baixa e tensão elevada. Com esta forma de transferência, um elevado nível de respingos e grande flutuação da corrente e tensão de soldagem são comuns e a operação está restrita à posição plana.

Na transferência por curto-circuito, o eletrodo toca a poça de fusão periodicamente (de 20 a 200 vezes por segundo), ocorrendo a transferência de metal de adição durante estes curtos por ação da tensão superficial e forças eletromagnéticas. É a forma de transferência mais usada para soldagem de aços (particularmente com proteção de CO₂) fora da posição plana e de peças de pequena espessura (até 6 mm) devido às pequenas correntes de operação e à sua independência da ação da gravidade. Elevado nível de respingos e uma tendência à falta de fusão da junta (principalmente para juntas de grande espessura) são problemas típicos desta forma de operação.

A transferência pulsada é conseguida com fontes especiais que impõem uma forma especial à corrente de soldagem, caracterizada por pulsos periódicos de alta corrente. Esta pulsação permite uma transferência *spray* com valores médios de corrente inferiores aos valores nos quais esta forma de transferência ocorre normalmente. Assim, obtém-se as vantagens desta transferência com baixos valores de corrente o que permite a sua aplicação na soldagem de juntas de pequena espessura e, também, fora da posição plana. As maiores limitações desta operação são a sua maior complexidade de operação e a necessidade de equipamentos especiais, de maior custo e mais complexos (MODENESE, 2000).

2.3.5 PROCESSO DE SOLDAGEM MIG

Como foi dito anteriormente, o processo de soldagem onde o arco elétrico é protegido por uma atmosfera de gás inerte é denominado MIG (Metal Inert Gas), neste processo o gás não tem nenhuma atividade física com a poça de fusão. A maioria das aplicações da soldagem MIG requer energia com corrente contínua com polaridade inversa. Nesta situação tem-se transferência estável, poucos respingos, e cordão de solda de boas características. Corrente contínua com polaridade direta não é frequentemente usada, e corrente alternada nunca é aplicada neste processo (MODENESE, 2000).

Devido aos avanços do desenvolvimento do processo MIG, é possível aplicá-lo em todos os metais comercialmente importantes como o alumínio, aço, aços inoxidáveis, cobre e outros. Utilizando esse processo é possível soldar materiais com espessura acima de 0,76mm em quase todas as posições.

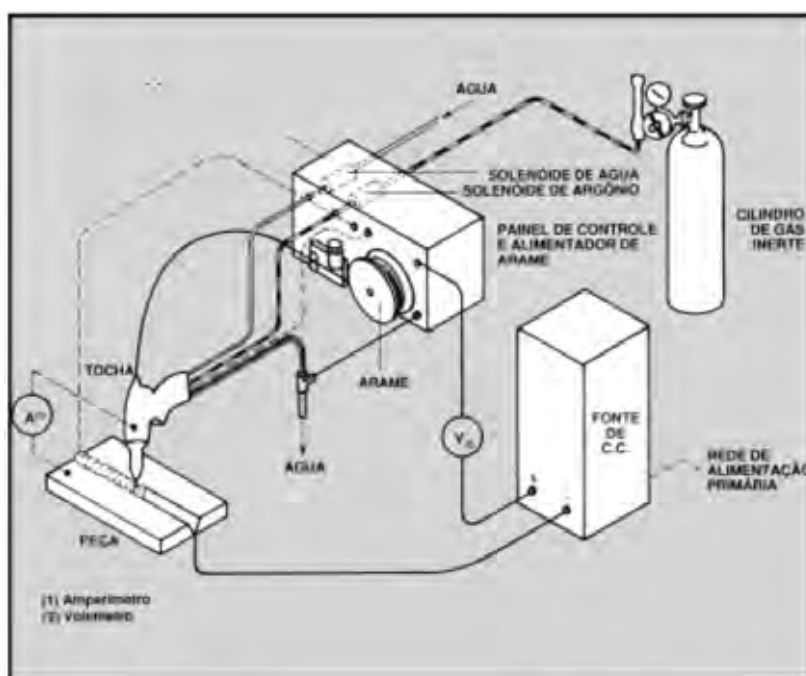


Figura 9: Diagrama esquemático do processo MIG (MODENESE,2000).

Como mostrado na Figura 9, para empregar o processo MIG é necessário possuir os seguintes equipamentos e consumíveis:

- Uma pistola;
- Um sistema de alimentação de eletrodo;
- Uma fonte de potência de corrente contínua projetada para soldagem MIG;
- Um suprimento de gás de proteção com regulador de pressão e fluxímetro;
- Um sistema de refrigeração de água, quando necessário;
- Eletrodo de alumínio ou liga de alumínio.

O processo de soldagem MIG apresenta 4 (quatro) métodos de transferência do metal do arame para a poça de fusão, são eles:

Transferência Globular: ocorre com uma corrente baixa em relação ao tamanho do eletrodo. O metal se transfere do eletrodo para a peça como glóbulos, cada direção e o aparecimento de salpico são bem evidentes (ALSTOM, 2005).

Transferência por spray ou por pulverização axial: ocorre com correntes altas. O metal de adição fundido se transfere através do arco como gotículas finas. Com a transferência por spray a taxa de deposição pode chegar até 10 Kg/h. Entretanto, essa taxa de deposição restringe o método à posição plana. Pode também dar origem a outro problema, que é possibilidade de ocorrência de falta de fusão, devido ao jato metálico ser lançado para regiões que não tenham sido suficientemente aquecidas (ALSTOM, 2005).

Transferência por curto-circuito: pode requerer uma fonte de energia especial. A fusão inicia-se globularmente e a gota vai aumentando de tamanho até tocar a poça de fusão, produzindo um curto-circuito e extinguindo o arco. Sob a ação de determinadas forças, a gota é transferida para a peça. Este processo permite soldagem em todas as posições e é um processo de energia relativamente baixa, o que restringe seu uso para espessuras maiores (ALSTOM, 2005).

Soldagem a arco pulsante: mantém um arco de corrente baixa como elemento de fundo e injeta sobre essa corrente baixa, pulsos de alta corrente. A transferência do metal de adição se dá pelo jato de gotículas durante esses pulsos. Esta característica da corrente de soldagem faz com que a energia de soldagem seja menor, o que torna possível na posição vertical pelo uso de arames de diâmetros grandes (ALSTOM, 2005).

Devido ao regime de transferência globular ter propensão à falta de fusão e o regime por curto-circuito ser antiprodutivo, e, portanto recomendado somente para passe de raiz, torna-se quase obrigatória a utilização do regime de pulverização axial, o problema é que nesse regime a poça de fusão é muito grande e não admite trabalhos fora da posição, esses fatos associados fazem com que os processos GMAW convencionais sejam utilizados preferencialmente na posição plana (ALSTOM, 2005).

2.3.6 PROCESSO DE SOLDAGEM MIG PULSANTE

A soldagem MIG pulsante é o processo utilizado nesse trabalho, ele é uma variação do processo MIG convencional na qual a transferência metálica ocorre periodicamente controlada pela pulsação da corrente de soldagem. Uma corrente de nível menor (corrente de base) é utilizada para manter o arco, a fim de fundir o eletrodo e promover a limpeza catódica do metal base. Posteriormente, pulsos de alta corrente são sobrepostos para permitir a transferência do metal. O resultado dessa técnica é um processo no qual a transferência ocorre pela técnica em “spray”, porém com correntes de soldagem médias enormemente reduzidas (normalmente inferior à corrente mínima para que ocorra a transferência em “spray” para uma dada liga e diâmetro de eletrodo). As vantagens desse processo, aplicado ao alumínio, são:

- Condições de arco mais estáveis;

- Transferência por “*spray*” em níveis de corrente médios normalmente associados à transferência globular. Consequentemente com menor aporte térmico;
- Controle sobre a poça de fusão;
- Redução do nível de contaminantes transferidos à poça de fusão pelo arame devido a menor área superficial associada à possibilidade de se utilizar um arame de bitola maior;
- Redução do nível de porosidade devido ao fluxo de metal líquido da poça de fusão e de sua movimentação;
- Melhor aparência do cordão de solda;
- Baixo nível de distorções – custo final de operação mais baixo.

Taxas de pulsação de 60 a 120 pulsos por segundo são comuns e, além do que, com certas máquinas, o controle da largura do pulso também é possível, o que permite correntes médias ainda mais baixas. Com o uso crescente dos componentes em estado sólido nas fontes de energia, tornou-se possível obter formatos de ondas de corrente e taxas de pulsação diferentes das ondas senoidais de 60Hz que alimentam essas máquinas.

As máquinas mais antigas possuíam duas fontes de energia, uma para a obtenção da corrente de base e outra para fornecer os pulsos. As máquinas atuais utilizam componentes com a mais moderna tecnologia em estado sólido o que possibilita obter a pulsação em uma única fonte de energia. Desde que se passou a ter indicação de que a frequência de pulsação não deve ser fixa, porém relacionada as condições de arco, sistemas de realimentação têm sido desenvolvidos, possibilitando o surgimento de máquinas bastante sofisticadas, que naturalmente possuem um custo maior. Entretanto, elas asseguram uma melhor facilidade no estabelecimento do procedimento e na manutenção da estabilidade do arco.

2.3.7 DESCONTINUIDADES EM JUNTAS SOLDADAS

O termo descontinuidade em soldagem denota uma interrupção ou violação estrutural na região soldada, tal como uma falta de homogeneidade nas características mecânicas, físicas ou metalúrgicas do depósito. A descontinuidade será considerada um defeito quando efeito isolado ou múltiplo deste originar uma incapacidade total ou parcial em relação às mínimas exigências padrões.

Deste modo, o conhecimento dos tipos de descontinuidade relacionadas à operação de soldagem e seus mecanismos de formação e controle, representará a diferença entre a operação esperada do componente ou a sua indesejada falha. A presença de descontinuidades exige a aplicação de medidas corretivas que acarretam uma elevação no tempo e no final valor do equipamento fabricado, além logicamente, da insatisfação do cliente (RODRIGUES BARRA, 1999).

Os principais defeitos encontrados nas soldas de alumínio são: trincas, falta de penetração, falta de fusão, porosidade excessiva, mordeduras, tamanho e perfil de solda inadequados.

2.3.7.1 TRINCAS

Trincas são fissuras que podem ocorrer tanto no metal de solda como na zona termicamente afetada durante a solidificação e resfriamento da solda (ALCAN ALUMÍNIO DO BRASIL S/A, 1993).

As trincas aparecem quando há uma combinação de fragilidade metalúrgica e tensões aplicadas. Os tipos de trinca variam de acordo com as diferentes formas de tensão, como segue:

- Trinca longitudinal

São ocasionadas pela associação de dois fatores: tensões transversais através da junta e perda de resistência mecânica do metal da solda durante a sua solidificação. As tensões podem ser ocasionadas pelas restrições excessivas dos gabaritos de fixação ou da própria rigidez da estrutura. Já a fragilidade metalúrgica esta associada ao uso da liga de adição errada, e pela pouca participação do metal de enchimento na solda, pela relação muito pequena entre o metal de solda e a espessura do metal base ou pela baixa velocidade de soldagem (ALCAN ALUMÍNIO DO BRASIL S/A, 1993).

Para evitar o aparecimento desse tipo de trinca é necessário reduzir as tensões longitudinais ou aumentar a quantidade de preparação das bordas. Isso implica aumentar o ângulo de chanfro e, algumas vezes, fazer os dois. Aumentar a preparação das bordas significa maior utilização de metal de adição na solda, diminuição na diluição do metal base resultando num metal de solda com composição menos suscetível à fissuração a quente (ALCAN ALUMÍNIO DO BRASIL S/A, 1993).

- Trinca transversal:

Apesar das trincas transversais não serem comuns em soldas de alumínio, existe a possibilidade de ocorrer, sendo que as causas e as medidas para evitá-las são as mesmas das trincas longitudinais.

- Trinca de cratera

A trinca de cratera é originada pelos mesmos mecanismos que as outras trincas a quente.

2.3.7.2 FALTA DE PENETRAÇÃO

A falta de penetração é considerada um defeito crítico por ser um ponto de concentração de tensões que pode originar uma falha maior.

A falta de penetração ocorre na raiz de uma junta de soldada. Ocorre onde a solda não penetra toda a espessura do metal base. E pode ocorrer, também, quando a soldagem é feita de um lado apenas, ou onde as soldas não se interpenetraram suficientemente quando é realizada uma soldagem dos dois lados da junta.

Nas soldas em chanfro essa descontinuidade ocorre pelo uso de baixas correntes de soldagem, abertura de junta insuficiente, preparação de borda inadequada, ou velocidade de deslocamento excessiva para a corrente empregada (ALCAN ALUMÍNIO DO BRASIL S/A, 1993).

2.3.7.3 FALTA DE FUSÃO

A falta de fusão é observada quando um metal base ou um metal de solda anteriormente depositado não consegue se unir com o metal de solda. As principais causas da aparência desse efeito são: comprimento de arco longo, insuficiência na corrente de soldagem, preparação inadequada da borda e/ou metal com película de óxido espessa. Com o escovamento da junta antes da soldagem e entre passes em soldas multipasses, para a remoção do filme de óxido e da fuligem, a última causa pode ser evitada (ALCAN ALUMÍNIO DO BRASIL S/A, 1993).

2.3.7.4 MORDEDURA

A mordedura ocorre ao longo de cada lado ou dos dois lados do cordão de solda e é a formação de sulcos no metal base. Uma área mais extensa que a da solda é fundida devido ao calor do arco, e o metal extra, por capilaridade ou até mesmo gravidade, escorre para fora do cordão da solda, o que forma os sulcos chamados de mordeduras. A mordedura acentuada reduz a área de secção transversal da junta, atuando como um ponto concentrador de tensões.

Entre as causas do aparecimento de mordeduras estão: uso errado da técnica de soldagem devido à manipulação errada da tocha e corrente muito alta ou muito lenta em relação à espessura do metal (ALCAN ALUMÍNIO DO BRASIL S/A, 1993).

2.3.7.5 POROSIDADE

A porosidade é a formação de pequenas bolsas de hidrogênio ou cavidades. O hidrogênio causa isso devido ao fato de ele ser consideravelmente insolúvel em alumínio. Quando a quantidade de porosidade esférica é pequena e dispersa uniformemente na solda não apresenta praticamente nenhuma influência sobre a resistência da junta. Já em grande quantidade, a resistência e ductilidade da junta ficam prejudicadas.

A classificação da porosidade depende de seu tamanho e localização. Os poros podem ser: finos (menores que 1,6 mm), médios (menores que 3,2 mm) ou grandes (acima de 3,2 mm). A localização pode ser dispersa, apresentando o mínimo de efeito sobre as propriedades mecânicas; agrupada, consequência de uma variação nas condições de soldagem, podendo ou

não ser aceitável; alinhada, relacionada a um dos outros defeitos, como falta de fusão ou penetração, e é raramente aceitável.

As soldas MIG apresentam uma maior porosidade que as soldas TIG, devido ao fato de que quanto mais tempo a poça de solda permanecer líquida, maior será a oportunidade para o gás hidrogênio sair. Correntes de soldagem mais elevada e associadas a poças de solda maiores tendem a dar menos porosidade que as de soldagem mais baixas.

A principal causa do aparecimento de porosidade nas soldas de ligas de alumínio é a introdução de hidrogênio proveniente de fontes externas: vapor d' água, óleo e graxa, etc., dentro da atmosfera do arco, causando a penetração do hidrogênio na poça de solda. Um dos agentes contaminantes, e assim, causador da porosidade, é o metal de adição, que pode contaminar-se através do próprio manuseio e armazenagem, independente da sua qualidade original. Também têm as sujidades consequentes de uma má limpeza do metal base. O hidrogênio dessas fontes externas é decomposto em hidrogênio atômico devido ao calor do arco, para depois ser dissolvido no metal de solda fundido. Na solidificação da solda o hidrogênio é liberado de modo a formar poros de gás, uma vez que sua solubilidade em alumínio sólido é bem menor do que em alumínio fundido (ALCAN ALUMÍNIO DO BRASIL S/A, 1993).

O principal mecanismo de formação de poros se baseia na relação velocidade da frente de solidificação versus taxa de separação dos gases/vapores dissolvidos na poça de fusão. Caso a velocidade da frente de solidificação seja maior que a velocidade de desprendimento dos gases/vapores (velocidade de soldagem alta) o poro formado terá a forma esférica. Por outro lado, se a velocidade de frente for igual a de desprendimento (velocidade de soldagem média) o poro terá forma vermicular. A formação de poros se torna praticamente insignificante quando a velocidade da frente for inferior a de desprendimento (velocidade de soldagem lenta). Uma das condições para o surgimento é a presença de supersaturação total ou localizada de gás na poça de fusão.

Os gases que causam porosidade são o hidrogênio, nitrogênio e dióxido de carbono. O hidrogênio tem origem na umidade presente no consumível ou no metal de base. Para o nitrogênio a origem vem da captação do ar vizinho ao arco voltaico. No caso do dióxido de carbono a origem está na combinação de O_2 e metal de base em aço não acalmado (RODRIGUES BARRA, 1999).

Os principais fatores influentes na formação de porosidade em juntas soldadas podem ser divididos em metalúrgicos, operacionais e mecânicos.

- Fatores metalúrgicos:

- Composição química do metal de base (presença de elementos formadores de porosidade como óxidos e micro poros oriundo do processo de conformação mecânica);
- Composição química do revestimento e/ou gás de proteção;

- Insuficiência de elementos desoxidantes no metal de adição e no metal de base.

- Fatores operacionais:

- Procedimento inadequado de soldagem (comprimentos do arco, deslocamento lateral do arco – Infiltração de ar ou água por falha de manutenção, condição inadequada de estocagem dos consumíveis, outros);
- Instabilidade na coluna do arco provocado pela utilização de parâmetros de soldagem (corrente e tensão fora da faixa especificada, fluxo de gás fora do especificado, outros);
- Limpeza da região a ser soldada.

- Fatores mecânicos:

- Grau de restrição aliado a contração na mudança de estado (líquido/sólido) da poça de fusão (RODRIGUES BARRA, 1999).

Basicamente, o controle para o aparecimento de poros se resume em:

- Limpeza adequada da região soldada;
- Armazenamento adequado dos consumíveis (controle de umidade);
- Cuidados especiais na soldagem de metal de base com micro poros decorrentes do processo de laminação (utilização de amanteigamento, se necessário);
- Eliminação de vazamento no sistema de refrigeração;
- Cuidado especial no controle da cratera (uso de chapa apêndice e/ou uso de rampa de corrente em conjunto com a manipulação adequada do eletrodo – passe a ré);
- Controle da composição química do metal de base e do consumível (RODRIGUES BARRA, 1999).

Como forma de exemplificar o mecanismo de formação bem como o aspecto e as localizações deste tipo de descontinuidade mostrar-se-á algumas macro e micrografias de regiões soldadas apresentando suas diversas formas.

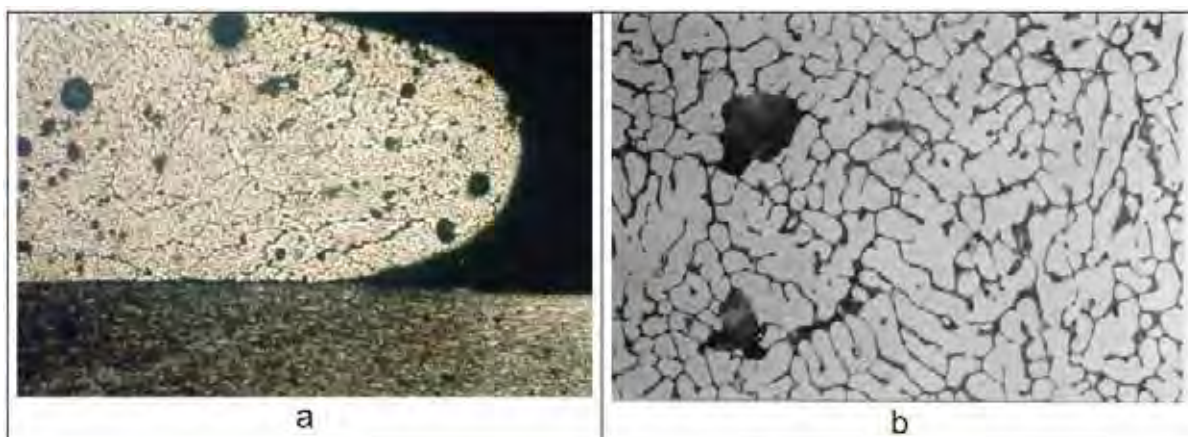


Figura 10 – Macrografia mostrando a presença de porosidade na forma esférica num cordão de solda em AlSi (a) e microporosidade entre os ramos dendríticos no mesmo cordão (b). (RODRIGUES BARRA, 1999).

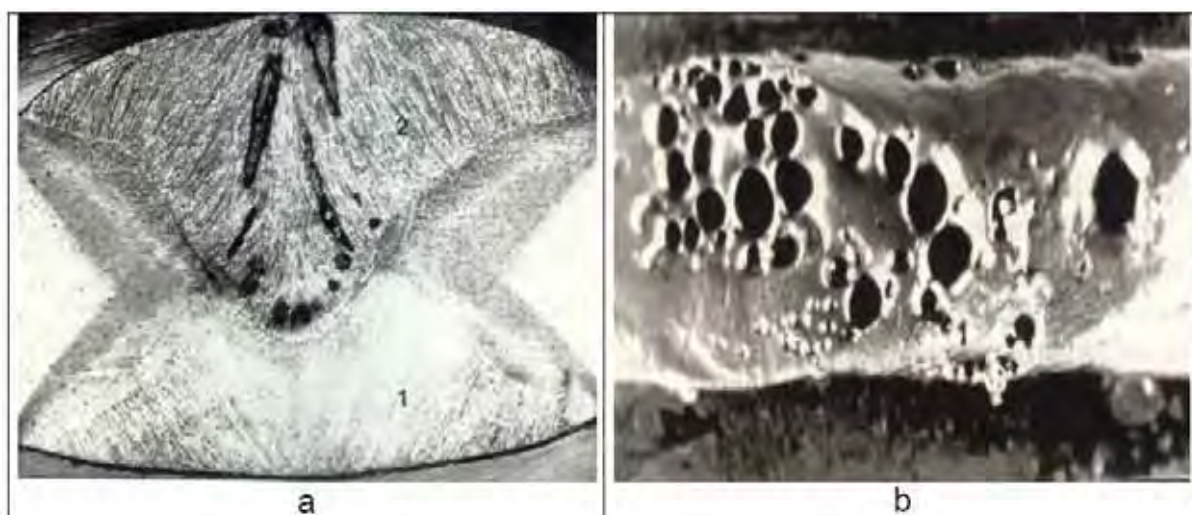


Figura 11 – Porosidade vermicular com direção e crescimento da raiz para o reforço (a) e porosidade agrupada (b). (RODRIGUES BARRA, 1999).

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para efetuar a análise da influência dos parâmetros estudados no aparecimento dos poros nas juntas soldadas, foram elaborados 5 (cinco) corpos-de-prova a partir de 10 (dez) tubos de alumínio da liga 6101-T6, os tubos foram fornecidos por uma empresa metalúrgica da área de geração de energia e são obtidos através de extrusão.

Segue uma figura esquemática, mostrando as dimensões dos tubos:

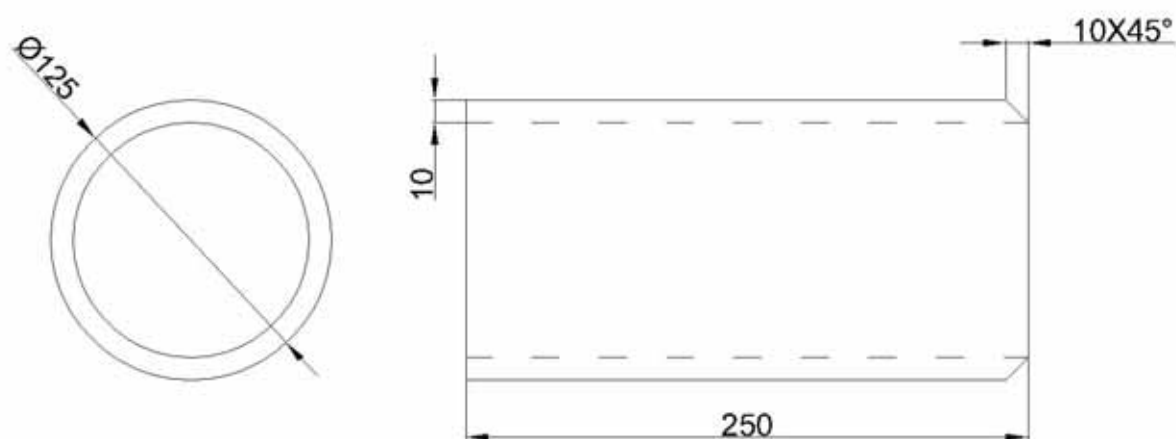


Figura 12 – Desenho do tubo utilizado para a soldagem

Cada corpo-de-prova surge da soldagem de 2(dois) tubos entre si, cada um deles soldado seguindo uma sequência, como mostrado nos itens seguintes.

3.1 CORPO-DE-PROVA “E”

Soldado conforme a EPS SA 571 1Z (Anexo I).

Processo: GMAW-MIG

Amperagem (A): 154-167

Voltagem (V): 21,8

Velocidade (cm/min): 31-37

Energia (J/cm): 5867-6875



Figura 13 - Corpo-de-prova “E”



Figura 14 - Detalhe do cordão de solda do corpo-de-prova “E”

3.2 CORPO-DE-PROVA “B”

Soldado seguindo a EPS SA 571 1Z, porém sem o pré-aquecimento (Temperatura Ambiente = 25 °C)

Processo: GMAW-MIG

Amperagem (A): 190

Voltagem (V): 22

Velocidade (cm/min): 38-42

Energia (J/cm): 6002-6538



Figura 15 - Corpo-de-prova “B”



Figura 16 - Detalhe do cordão de solda do corpo-de-prova “B”

3.3 CORPO-DE-PROVA “C”

Soldado seguindo a EPS AS 571 1Z, porém diminuindo a velocidade. Soldando o mais devagar possível.

Processo: GMAW-MIG

Amperagem (A): 164 - 175

Voltagem (V): 21,5

Velocidade(cm/min): 11 - 32

Energia (J/cm): 7043 – 19709



Figura 17: Corpo-de-prova “C”



Figura 18 - Detalhe do cordão de solda do corpo-de-prova “C”

3.4 CORPO-DE-PROVA “A”

Soldado seguindo a EPS AS 571 1Z, porém sem pré-aquecimento e sem monitorar o *interpass*.

Processo: GMAW-MIG

Amperagem (A): 190

Voltagem (V): 22

Velocidade(cm/min): 38 - 42

Energia (J/cm): 5037 - 6645



Figura 19 - Corpo-de-prova “A”



Figura 20 - Detalhe do cordão de solda do corpo-de-prova “A”

3.5 CORPO-DE-PROVA “D”

Soldado seguindo a EPS AS 571 1Z, porém sem monitorar o *interpass*.

Processo: GMAW-MIG

Amperagem (A): 158 - 170

Voltagem (V): 21,5 - 21,7

Velocidade(cm/min): 33 - 37

Energia (J/cm): 5626 – 5479



Figura 21 - Corpo-de-prova "D"



Figura 22 - Detalhe do cordão de solda do corpo-de-prova "D"



Figura 23 - Corpos-de-prova soldados

Após a execução de todos os procedimentos de soldagem, os corpos-de-prova foram encaminhados para a usinagem, para que fossem cortados e posteriormente enviados ao setor de metrologia, para que fossem executados os testes de dobra, tração e análise visual da quantidade de poros encontrada em cada uma das juntas.

4 RESULTADOS

Em todos os corpos-de-prova foram realizados os seguintes testes:

- Dois dobramentos;
- Um ensaio de tração;
- Um corte retificado no meio da solda, para análise visual de porosidades.

Sendo assim, observam-se os resultados nos próximos itens.

4.1 CORPO-DE-PROVA “E”

- Dobramento transversal lateral, ângulo de 180°:
1ª dobra: sem defeitos.
2ª dobra: abertura de 2 mm.



Figura 24 – Ensaio de dobra no corpo-de-prova “E”

- Ensaio de tração:
Ruptura a uma tensão de 133,95 MPa



Figura 25 – Ensaio de tração no corpo-de-prova “E”

- Corte para análise visual:
28 poros em uma área de 750mm^2



Figura 26 – Análise visual dos poros no corpo-de-prova “E”

O relatório dos testes efetuados no corpo-de-prova “E” se encontra no Anexo II.

4.2 CORPO-DE-PROVA “B”

- Dobramento transversal lateral, ângulo de 180°:
1ª dobra: sem defeitos.
2ª dobra: abertura de 3 mm.



Figura 27 – Ensaio de dobra no corpo-de-prova “B”

- Ensaio de tração:
Ruptura a uma tensão de 133,56 Mpa



Figura 28 – Ensaio de tração no corpo-de-prova “B”

- Corte para análise visual:
13 poros em uma área de 750mm²



Figura 29 – Análise visual dos poros no corpo-de-prova “B”

O relatório dos testes efetuados no corpo-de-prova “B” se encontra no Anexo III.

4.3 CORPO-DE-PROVA “C”

- Dobramento transversal lateral, ângulo de 180°:
1ª dobra: sem defeitos.
2ª dobra: sem defeitos.



Figura 30 – Ensaio de dobra no corpo-de-prova “C”

- Ensaio de tração:
Ruptura a uma tensão de 125,62 Mpa



Figura 31 – Ensaio de tração no corpo-de-prova “C”

- Corte para análise visual:
1 poro em uma área de 750mm^2



Figura 32 – Análise visual dos poros no corpo-de-prova “C”

O relatório dos testes efetuados no corpo-de-prova “C” se encontra no Anexo IV.

4.4 CORPO-DE-PROVA “A”

- Dobramento transversal lateral, ângulo de 180° :
1ª dobra: Quebrou.
2ª dobra: Abertura de 2mm.



Figura 33 – Ensaio de dobra no corpo-de-prova “A”

- Ensaio de tração:
Ruptura a uma tensão de 111,81 Mpa



Figura 34 – Ensaio de tração no corpo-de-prova “A”

- Corte para análise visual:
5 poros em uma área de 750mm²



Figura 35 – Análise visual dos poros no corpo-de-prova “A”

O relatório dos testes efetuados no corpo-de-prova “A” se encontra no Anexo V.

4.5 CORPO-DE-PROVA “D”

- Dobramento transversal lateral, ângulo de 180°:
1ª dobra: Sem defeitos.
2ª dobra: Abriu a partir de um canto, na linha de fusão.



Figura 36 – Ensaio de dobra no corpo-de-prova “D”

- Ensaio de tração:
Ruptura a uma tensão de 137,75 Mpa



Figura 37 – Ensaio de tração no corpo-de-prova “D”

- Corte para análise visual:
Nenhum poro encontrado em uma área de 750mm²



Figura 38 – Análise visual dos poros no corpo-de-prova “D”

O relatório dos testes efetuados no corpo-de-prova “D” se encontra no Anexo VI.

5. DISCUSSÕES

Ao analisar os resultados obtidos a partir dos ensaios efetuados e da análise visual das juntas soldadas, pode-se levantar alguns aspectos importantes e interessantes para o estudo em questão:

1º - O corpo-de-prova “E” apresentou uma quantidade considerável de poros, o que já era esperado, pois este estudo se deu justamente pelo grande aparecimento de poros nas juntas soldadas seguindo a EPS SA 571 1Z.

O ensaio de dobra apresentou uma abertura, porém menor que 3 mm, que é o limite considerado para a aplicação das juntas em questão.

O ensaio de tração foi considerado dentro do especificado, visto que o mínimo que o corpo-de-prova deve suportar neste ensaio é 100MPa.

2º - O corpo-de-prova “B” apresentou uma quantidade menor de poros em relação ao ensaio seguindo a EPS SA 571 1Z, porém essa diminuição não pode ser considerada substancial.

O ensaio de dobra apresentou uma abertura de 3 mm, sendo ainda considerado aceitável para a utilização em questão.

O ensaio de tração foi, assim como o anterior, considerado dentro do especificado.

3º - O corpo-de-prova “C” apresentou apenas 1 poro, assim considerando uma diminuição substancial no aparecimento de poros em relação ao corpo-de-prova soldado seguindo a EPS SA 571 1Z.

O ensaio de dobra não apresentou nenhum defeito, bem como o ensaio de tração, que apresentou uma tensão 25% maior que o mínimo especificado.

4º - O corpo-de-prova “A” apresentou 5 poros, considerando também uma diminuição considerável no número de poros. Porém, não passou em um dos ensaios de dobra, apresentando ruptura.

O ensaio de tração apresentou um valor dentro do limite, porém vale ressaltar que nesse caso a tração de ruptura foi a menor encontrada.

5º - O corpo-de-prova “D” não apresentou nenhum poro na junta soldada, porém o ensaio de dobra foi reprovado, conforme laudo de análise em anexo. Em uma análise visual da junta soldada pode-se observar que houve falta de fusão na junta, que pode ter sido causado por um erro operacional.

O ensaio de tração foi considerado dentro do limite.

6. CONCLUSÕES

Através da análise dos experimentos e dos resultados obtidos pode-se concluir que dentre os corpos-de-prova analisados, a especificação de soldagem que melhor apresentou uma diminuição no aparecimento de poros foi aquela com a qual foi soldado o corpo-de-prova “C”, ou seja, aquele que foi soldado com uma velocidade menor.

Na análise do corpo-de-prova “C” encontrou-se apenas 1 poro e os ensaios de dobra e tração foram impecáveis, apresentando resultados consideravelmente superiores aos outros corpos de prova.

Uma colocação importante a ser considerada é que, ao obter a opinião do soldador, quando a diferença entre cada uma das soldas, ele foi enfático em dizer que a soldagem do corpo-de-prova “C” foi consideravelmente mais fácil e ergonomicamente melhor.

Pode-se concluir também que, o pré-aquecimento da junta é de extrema importância, visto que os resultados dos ensaios em que não se usou pré-aquecimento foram os piores.

Assim, conclui-se com esse estudo que existe a necessidade de aprimorar a EPS utilizada hoje, visto que, através de ações simples, como a diminuição da velocidade de soldagem, ou mesmo o aumento da temperatura de interpasse, chega-se a uma situação em

que o produto fabricado apresentará uma maior qualidade e o processo de soldagem também se tornará mais ergonômico.

REFERÊNCIAS

ALCAN ALUMÍNIO DO BRASIL SA. **Manual de soldagem**. São Paulo, 1993.

MODENESE, Paulo J.; MARQUES Villani. **Introdução aos processos de soldagem**. Universidade Federal de Minas gerais, 2000. 52p. Disponível em: http://www.infosolda.com.br/new_site. Acesso em 19/11/2012.

BARRA, Sérgio R.; PEREIRA, Aldo S. **Descontinuidades em soldagem**. Universidade Federal de Santa Catarina, 1999. 33p.

ALSTOM BRASIL LTDA. **Treinamento da engenharia – Conceitos Básicos de Construção Soldada – Parte 1 – Características e aplicações dos Processos de Soldagem**. Taubaté, 2005. 24p.

WHITE MARTINS. **Soldagem do alumínio e suas ligas**. São Paulo, 2002.

SENAI. **Soldagem – Processo eletrodo revestido**. Curitiba, 2002. 123p

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

AMERICAN WELDING SOCIETY. **Welding Handbook**. 8ª Edição, Volume 1, 2001

WAINER, Emílio; BRANDI, Sérgio D.; MELLO, Fábio D. H.. **Soldagem – Processos e Metalurgia**. Editora Edgard Blucher Ltda, 1992

THE JAMES F. LINCOLN ARC WELDING FOUNDATION. **The procedure handbook of arc welding**. 14ª Edição, 2000.

KOU, Sindo. **Welding Metallurgy**. 2ª Edição, 2002.

ANEXOS

ANEXO I – EPS SA 571 1Z

Especificação N° Specification N° / Especificación N°		SA 571 1Z		Revisão N° Revisión / Revisión		00		Supportada Pelo RQP N° Supporting PQR No / Soportada por RQP N°	
Processo de Soldagem Welding Process / Processo de Soldadura		GMAW		Norma Code / Norma		ASME IX Ed. 2010		Z01312SA	
Tipo Type / Tipo		☐ Automático Automatic / Automático		☐ Manual Manual / Manual		☐ Máquina Machine / Máquina		☒ Semiautomático Semi-Automatic / Semiautomático	

Juntas (QW-402) Joints / Juntas			
Retentor Retainer / Retentor	☐ Sim Yes / Si	☒ Não No / No	☒ Junta de Chanfro Groove Joint / Junta de Bisel
Backing Backing / Respaldo	☒ Sim Yes / Si	☒ Não No / No	☒ Junta Filete Fillet Joint / Junta de Filete
Material do Backing Backing Material / Material del Respaldo	Metal de Base - Metal de Solda Base Metal / Metal de Base - Weld Metal / Metal de Soldadura		☐ Revestimento Duro Hard Face Overlay / Revestimiento duro
			☐ Revestimento de Corrosão Corrosion Overlay / Revestimiento para Corrosión

Metais de Base (QW-403) Base Metals / Metales de Base								
P/S-N° P/S-N° / P/S-N°	N.A.	Grupo N° Group N° / Grupo N°	N.A.	☒	P/S-N° P/S-N° / P/S-N°	N.A.	Grupo N° Group N° / Grupo N°	N.A.
Designação Designation / Designación	6101 T6 / T65⁽¹⁾		X		6061 T6 / T65⁽¹⁾			
Faixa de Espessura para Chanfro e Revestimento Thickness Range for Groove and Lining / Rango de Espesor para Bisel y Revestimiento								
N.A.	mm	Quando o Requisito Suplementar de Impacto é Aplicável When Supplemental Charpy Requirement is Applicable / Cuando lo Requisito Suplementario de Charpy es Aplicable						
5 - 30	mm	Quando o Requisito Suplementar de Impacto NÃO é Aplicável When Supplemental Charpy Requirement is NOT Applicable / Cuando lo Requisito Suplementario de Charpy NO es Aplicable						
Filete Fillet / Bisel	Todas All / Todas	mm	Espessura do Passe Maior 1/2 pol. Pass Thickness > Than 1/2 in / Espesura del Pase > que 1/2"					
			☐ Sim Yes / Si					
			☒ Não No / No					

Metais de Adição (QW-404) Filler Metals / Metales de Adición	
Especificação SFA SFA Specification / Especificación SFA	ER5356
Classificação AWS AWS Classification / Clasificación AWS	5.10
F-N° F-N° / F-N°	22
A-N° A-N° / A-N°	N.A.
Dimensão do Metal de Adição Size of Filler Metal / Dimensión del Metal de Adición	Ø 1,2 mm
Espessura Qualificada Thickness Range / Rango de Espesor	For OD ≥ 73 mm
Chanfro Groove / Bisel	≤ 30mm
Filete Fillet / Filete	Ilimitado Unlimited / Ilimitado
Guia Consumível Consumable Guide / Guía Consumible	N.A.
Adicionamento Supplemental / Adicionamiento	N.U.
Elementos de Liga Alloy Elements / Elementos de Liga	N.U.
Inserto Consumível Consumable Insert / Inserto Consumible	N.A.
Classificação Fluxo-Arame Flux-Electrode Classif. / Clasif. del Flujo-Electrodo	N.A.
Tipo de Fluxo Flux Type / Tipo de Flujo	N.A.
Nome Comercial do Fluxo Flux Trade Name / Nombre Comercial del Flujo	N.A.
Reaproveitamento de Escória Recrushed Slag / Reutilización de las Escorias	N.A.
Forma do Produto (Metal de Adição) Filler Metal Product Form / Forma del Producto (Metal de Adición)	Arame Sólido Solid Wire / Alambre Sólido

Posições (QW-405) Positions / Posiciones			
Posição de Soldagem Welding Position / Posición del Bisel	Chanfro Groove / Bisel	Todas All / Todas	Progressão de Soldagem Weld Progression / Progresión de Soldadura
	Filete Fillet / Filete	Todas All / Todas	☒ Ascendente Uphill / Ascendiente
			☐ Descendente Downhill / Descendiente
			☐ N/A NA / NA

Pré-Aquecimento (QW-406) Preheat / Pré Calentamiento						
Temperatura de Pré-Aquecimento Preheat Temp. / Temp. de Pré Calentamiento	Até 10,0 mm Up to / Hasta	20°C	de 10,1 a 30 mm From / De	50°C	Acima Over / Arriba	-
Temperatura Máxima de Interpasse Max. Interpass Temp. / Temp. Máx. Entre Pases	80°C		Pós-Aquecimento Post Heating / Pos Calentamiento	N.A.	Tempo Time / Tiempo	N.A.

Formulário ES 001 - Revisão 6 - Agosto de 2010

Tratamento Térmico (QW-407) Weld Heat Treatment / Tratamiento Térmico							
Tipo N.A. Type / Tipo		Temperatura N.A. Temperature / Temperatura		Tempo N.A. Time / Tiempo			
Outros N.A. Others / Otros							

Gás (QW-408) Gas / Gás			
Gás SG-A (Ar) Gas / Gás		Composição N.A. Composition / Composición	
Proteção SG-A (Ar) Shielding / Protección		Vazão (L/min) 15 - 20 Flow Rate / Caudal	
Proteção Lado Oposto N.A. Back Shield / Protección Lado Oposto		N.A.	

Características Elétricas (QW-409) Electrical Characteristics / Características Eléctricas			
Modo de Transferência ☐ Curto Circuito ☐ Globular ☐ Spray ☒ Pulsado Transfer Mode / Modo de Transferência Short Circuit / Corto Circuito Globular / Globular Spray / Spray Pulse / Pulso			
Eletródo de Tungstênio (GTAW) Tipo N.A. Tungsten Electrode / Electrodo de Tungstênio Type / Tipo		Dimensão N.A. Size / Dimensión	
Outros N.A. Others / Otros			

Técnica (QW-410) Technique / Técnica			
Técnica de Soldagem ☒ Retilíneo Welding Technique / Técnica de Soldadura Stringer / Rectilíneo		☒ Oscilado $\leq 10\text{mm}$ Weave / Oscilado	
Limpeza Inicial e Interpasse (2) ☒ Escova Initial and Interpass Cleaning / Limp. Inicial y Entre Pasa Brush / Escoba		☒ Lixadeira ☐ Outros Grinding / Lijadora Others / Otros	
Método de Golivagem (2) ☐ Arco Method of Back Gouging / Método del Torchedo Arc / Arco		☒ Esmeril Grinder / Esmeril	
Tipo de Passe ☒ Passe Simples (Por Lado) Pass type / Tipo de Paso Single Pass (Per Side) / Pase Simple (Por Lado)		☒ Passe Múltiplo (por Lado) Multiple Pass (per side) / Pase Múltiplo (por lado)	
Tipo de Eletrodo ☒ Eletrodo Simples Electrode type / Tipo de Electrodo Single Electrode / Electrodo Simple		☐ Eletrodo Múltiplo Multiple Electrode / Electrodo Múltiplo	
Orifício para Saída de Gás 14 - 16 mm Orifice or Gas Cup Size / Agujero de Salida del Gas			
Outros N.A. Others / Otros			

Parâmetros de Soldagem Welding Parameters / Parámetros de Soldadura								
Pases Pass / Pases	Processo Process / Proceso	Metal de Adição Filler Metal / Metal de Adición		Corrente Current / Corriente		Voltagem Voltage / Voltaje (V)	Velocidade Travel Speed / Velocidad (cm/min)	Energia Heat Input / Energía (J/cm)
		Classificação AWS Classification AWS / Clasificación AWS	Dimensão Size / Dimensión (mm)	Tipo e Polaridade Type and Polarity / Tipo y Polaridad	Amperagem Amperage / Amperaje (A)			
n	GMAW	ER5356	Ø1,2	CC+ DC+	160 - 190	20 - 23	15 - 50	N.A.

Observações Remarks / Observaciones								
(1) EPS válida para soldar alumínio 6101 T6 / T65 para projetos seguindo IN25H5L-010								
(2) Utilizar abrasivos específicos para alumínio								

00	Primeira emissão First issue / Primera emisión	6/3/2012	Wanderlei Borges Junior	Antoine VAICHÈRE			
Revisão Revision / Revisión	Descrição Description / Descripción	Data Date / Fecha	Nome Name / Nombre	Assinatura Signature / Firma	Nome Name / Nombre	Assinatura Signature / Firma	
			Preparado Prepared / Preparado		Aprovado Approved / Aprobado		

ANEXO II - RELATÓRIO DE ENSAIO CORPO-DE-PROVA "E"

PROCEDIMENTO DE ENSAIO :		IN06HLA-004		NORMAS DE ENSAIOS :		ASME IX ed. 2010		P.E :		4003/12 E					
Tests Procedure / Procedimiento de Prueba				Tests Standards / Normas de Pruebas											
APLICAÇÃO :		☐ QUALIFICAÇÃO DE EPS		☐ QUALIFICAÇÃO DE EPB		☐ QUALIFICAÇÃO DE BRASADOR/OPERADOR DE BRASAGEM									
Application / Aplicación		WPS Qualification / Calificación de EPS		BPS Qualification / Calificación de EPB		Brazing Operator Performance Qualification / Calificación de Brasador									
		☐ QUALIFICAÇÃO DE SOLDADOR/OPERADOR DE SOLDAGEM		☒ OUTRO : PESQUISA											
		Welder/Welding Operator Performance Qualification / Calificación de Soldador		Other / Outro											
PROCESSO :		☒ SOLDAGEM GMAW		☐ BRASAGEM		☐ PROC. ESPECIAL (QW-380)									
Process / Proceso		Welding		Brazing		Special Process / Proceso Especial									
MATERIAL DE BASE															
Base Material															
MATERIAL :		6101 T6		x		6101 T6		ESPESSURA :		10 mm x 10 mm					
Material								Thickness / Espesor		Supplier / Suministrador					
CORRIDA :		764658		x		764658		INSPEÇÃO :		*** x ***					
Heat Number								Inspection Number							
METAL DE ADIÇÃO															
Filler Metal / Metal de Relleno															
ESPECIFICAÇÃO :		ER5356		FORNECEDOR :		Novametal		CERTIFICADO :		***					
Specification / Especificación				Supplier / Suministrador				Heat Number		CORRIDA : 38877					
ESPECIFICAÇÃO :				FORNECEDOR :				CERTIFICADO :							
Specification / Especificación				Supplier / Suministrador				Heat Number		CORRIDA : Heat Number					
ENSAIOS DE TRAÇÃO															
Tensile Tests / Pruebas de Tracción															
N° CP	LARGURA	ESPESSURA	ÁREA	CARGA	TENSÃO	LOCALIZAÇÃO DA FRATURA									
Test Piece Number	Width / Ancho	Thickness / Espesor	Area	Load	Tensile Strength	Fracture Localization / Localización de la Fractura									
	W (mm)	y (mm)	(mm²)	(Kgf)	(MPa)										
T1	19,01	9,96	189,3	2588	133,95	METAL DE BASE (Base Metal)									
ESPECIFICADO (Specified)															
ENSAIOS DE IMPACTO															
Impact Tests / Pruebas de Impacto															
N° CP	RESULTADOS DOS TESTES			MÉDIA		TAMANHO CP	LOCALIZAÇÃO DO ENTALHE		TEMPERATURA						
Test Piece Number	Test Results / Resultados de la Prueba			Average / Promedio		Test Piece Size / Dimensiones del CP	Notch Location / Posición del Entalhe		Temperature (°C)						
	(Kgf.m)	Joules (J)		(J)	(Ft.Lbf)										
ESPECIFICADO	MIN														
Specified	MAX														
TESTES DE DOBRAMENTO															
Bend Tests / Prueba de Curvatura															
N° CP	QUANTIDADE	TIPO			ÂNGULO		Ø MANDRIL	RESULTADO							
Test Piece Number	Quantity / Cantidad	Type			Angle / Ángulo		Ø Tool / Herramienta	Result							
					Graus (Degrees)		(mm)								
CP	2	DOBRAMENTO TRANSVERSAL LATERAL (Transverse Side Bend)			180		100	APROVADO (Approved / Aprobado)							
ANÁLISE QUÍMICA															
Chemical Analysis / Análisis Químico															
N° CP	C (%)	Mn (%)	Si (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)	Cu (%)	P (%)	S (%)	Al (%)	Zn (%)	Sn (%)	Pb (%)	Sb (%)	OBSERVAÇÕES
Test Piece Number															Notes / Observación
OUTROS TESTES															
Another Tests / Otras Pruebas															
☐ DUREZA: RELATÓRIO N° :		☐ MACROGRAFIA: RELATÓRIO N° :		☐ END:											
Hardness Report N° / Informe N°		Macrographic Tests Report N° / Informe N°		NDT											
☐ VISUAL: RELATÓRIO N° :		☐ OUTROS :													
Visual Report N° / Informe N°		Others													
OBSERVAÇÕES															
Remarks / Observaciones															
* Tubo "E", soldado seguindo a EPS: SA5711Z															
* Diâmetro do Tubo utilizado para soldagem: Ø 125,00 mm															
* Teste de Dobramento: 1 sem defeitos e 1 com abertura de 2 mm.															
NOME/SINETE DO SOLDADOR :						POSIÇÃO DE SOLDAGEM :									
Welder Name/Stamping						Weld Position									
EQUIPAMENTOS UTILIZADOS :															
Equipments															

ANEXO III - RELATÓRIO DE ENSAIO CORPO-DE-PROVA "B"

PROCEDIMENTO DE ENSAIO :		IN06HLA-004		NORMAS DE ENSAIOS :		ASME IX ed. 2010		P.E :		4005/12 B					
Tests Procedure / Procedimiento de Prueba				Tests Standards / Normas de Pruebas											
APLICAÇÃO :		☐ QUALIFICAÇÃO DE EPS		☐ QUALIFICAÇÃO DE EPB		☐ QUALIFICAÇÃO DE BRASADOR/OPERADOR DE BRASAGEM									
Application / Aplicación		WPS Qualification / Calificación de EPS		BPS Qualification / Calificación de EPB		Brazing Operator Performance Qualification / Calificación de Brasador									
		☐ QUALIFICAÇÃO DE SOLDADOR/OPERADOR DE SOLDAGEM		☒ OUTRO : PESQUISA											
		Welder/Welding Operator Performance Qualification / Calificación de Soldador		Other / Outro											
PROCESSO :		☒ SOLDAGEM GMAW		☐ BRASAGEM		☐ PROC. ESPECIAL (QW-380)									
Process / Proceso		Welding		Brazing		Special Process / Proceso Especial									
MATERIAL DE BASE															
Base Material															
MATERIAL :		6101 T6		x		6101 T6		ESPESSURA :		10 mm x 10 mm					
Material								Thickness / Espesor		Supplier / Suministrador					
CORRIDA :		764658		x		764658		INSPEÇÃO :		*** x ***					
Heat Number								Inspection Number							
METAL DE ADIÇÃO															
Filler Metal / Metal de Relleno															
ESPECIFICAÇÃO :		ER5356		FORNECEDOR :		Novametal		CERTIFICADO :		***					
Specification / Especificación				Supplier / Suministrador				Heat Number		CORRIDA : 38877					
ESPECIFICAÇÃO :				FORNECEDOR :				CERTIFICADO :							
Specification / Especificación				Supplier / Suministrador				Heat Number		CORRIDA : 38877					
								Heat Number							
ENSAIOS DE TRAÇÃO															
Tensile Tests / Pruebas de Tracción															
N° CP	LARGURA	ESPESSURA	ÁREA	CARGA	TENSÃO	LOCALIZAÇÃO DA FRATURA									
Test Piece Number	Width / Ancho	Thickness / Espesor	Area	Load	Tensile Strength	Fracture Localization / Localización de la Fractura									
	W (mm)	y (mm)	(mm²)	(Kg)	(MPa)										
T1	19,92	9,75	194,2	2647	133,56	METAL DE BASE (Base Metal)									
ESPECIFICADO (Specified)															
ENSAIOS DE IMPACTO															
Impact Tests / Pruebas de Impacto															
N° CP	RESULTADOS DOS TESTES				MÉDIA		TAMANHO CP	LOCALIZAÇÃO DO ENTALHE		TEMPERATURA					
Test Piece Number	Test Results / Resultados de la Prueba				Average / Promedio		Test Piece Size / Dimensiones del CP	Notch Location / Posición del Entalhe		Temperature					
	(Kg.f.m)				(J)		(Ft.Lbf)			(°C)					
ESPECIFICADO		MIN													
Specified		MAX													
TESTES DE DOBRAMENTO															
Band Tests / Prueba de Curvatura															
N° CP	QUANTIDADE	TIPO				ÂNGULO	Ø MANDRIL	RESULTADO							
Test Piece Number	Quantity / Cantidad	Type				Angle / Ángulo	Ø Tool / Herramienta	Result							
						Graus (Degrees)	(mm)								
CP	2	DOBRAMENTO TRANSVERSAL LATERAL (Transverse Side Bend)				180	100	APROVADO (Approved / Aprobado)							
ANÁLISE QUÍMICA															
Chemical Analysis / Análisis Químico															
N° CP	C (%)	Mn (%)	Si (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)	Cu (%)	P (%)	S (%)	Al (%)	Zn (%)	Sn (%)	Pb (%)	Sb (%)	OBSERVAÇÕES
Test Piece Number															Notes / Observación
OUTROS TESTES															
Another Tests / Otras Pruebas															
☐ DUREZA:		RELATÓRIO N° :				☐ MACROGRAFIA:		RELATÓRIO N° :				☐ END:			
Hardness		Report N° / Informe N°				Macrographic Tests		Report N° / Informe N°				NDT			
☐ VISUAL:		RELATÓRIO N° :				☐ OUTROS :									
Visual		Report N° / Informe N°				Others									
OBSERVAÇÕES															
Remarks / Observaciones															
* Tubo "B", soldado seguindo a EPS: SA5711Z exceto o Pré-Aquecimento (Tamb.)															
* Diâmetro do Tubo utilizado para soldagem: Ø 125,00 mm															
* Teste de Dobramento: 1 sem defeitos, 1 com abertura de 3 mm.															
NOME/SINETE DO SOLDADOR :								POSIÇÃO DE SOLDAGEM :							
Welder Name/Stamping								Weld Position							
EQUIPAMENTOS UTILIZADOS :															
Equipments															

ANEXO IV - RELATÓRIO DE ENSAIO CORPO-DE-PROVA “C”

PROCEDIMENTO DE ENSAIO : IN06HLA-004		NORMAS DE ENSAIO : ASME IX ed. 2010		P.E : 4007/12 C											
Tests Procedure / Procedimiento de Prueba		Tests Standards / Normas de Pruebas													
APLICAÇÃO : ☐ QUALIFICAÇÃO DE EPS ☐ QUALIFICAÇÃO DE EPB ☐ QUALIFICAÇÃO DE BRASADOR/OPERADOR DE BRASAGEM Application / Aplicación WPS Qualification / Calificación de EPS BPS Qualification / Calificación de EPB Brazing Operator Performance Qualification / Calificación de Brasador															
☐ QUALIFICAÇÃO DE SOLDADOR/OPERADOR DE SOLDAGEM ☒ OUTRO : PESQUISA Welder/Welding Operator Performance Qualification / Calificación de Soldador Other / Outro															
PROCESSO : ☒ SOLDAGEM GMAW ☐ BRASAGEM ☐ PROC. ESPECIAL (QW-380) Process / Proceso Welding Brazing Special Process / Proceso Especial															
MATERIAL DE BASE Base Material															
MATERIAL : 6101 T6 x 6101 T6		ESPESSURA : 10 mm x 10 mm		FORNECEDOR : ***											
Material Thickness / Espesor		Supplier / Suministrador													
CORRIDA : 764658 x 764658		INSPEÇÃO : *** x ***													
Heat Number Inspection Number															
METAL DE ADIÇÃO Filler Metal / Metal de Relleno															
ESPECIFICAÇÃO : ER5356		FORNECEDOR : Novametal		CERTIFICADO : ***											
Specification / Especificación		Supplier / Suministrador		Heat Number											
ESPECIFICAÇÃO :		FORNECEDOR :		CORRIDA : 38877											
Specification / Especificación		Supplier / Suministrador		Heat Number											
ENSAIOS DE TRAÇÃO Tensile Tests / Pruebas de Tracción															
Nº CP	LARGURA	ESPESSURA	ÁREA	CARGA	TENSÃO	LOCALIZAÇÃO DA FRATURA									
Test Piece Number	Width / Ancho	Thickness / Espesor	Area	Load	Tensile Strength	Fracture Localization / Localización de la Fractura									
	W (mm)	y (mm)	(mm²)	(KgF)	(MPa)										
T1	19,23	10,11	194,4	2492	125,62	METAL DE BASE (Base Metal)									
ESPECIFICADO (Specified)															
ENSAIOS DE IMPACTO Impact Tests / Pruebas de Impacto															
Nº CP	RESULTADOS DOS TESTES		MÉDIA		TAMANHO CP	LOCALIZAÇÃO DO ENTALHE	TEMPERATURA								
Test Piece Number	Test Results / Resultados de la Prueba		Average / Promedio		Test Piece Size / Dimensiones del CP	Notch Location / Posición del Entalhe	Temperature								
	(KgF.m)	Joules (J)	(J)	(Ft.Lbf)			(°C)								
ESPECIFICADO															
Specified	MIN														
TESTES DE DOBRAMENTO Bend Tests / Prueba de Curvatura															
Nº CP	QUANTIDADE	TIPO			ÂNGULO	O MANDRIL	RESULTADO								
Test Piece Number	Quantity / Cantidad	Type			Angle / Ángulo	Ø Tool / Herramienta	Result								
					Grav (Degrees)	(mm)									
CP	2	DOBRAMENTO TRANSVERSAL LATERAL (Transverse Side Bend)			180	100	APROVADO (Approved / Aprobado)								
ANALISE QUIMICA Chemical Analysis / Analisis Químico															
Nº CP	C (%)	Mn (%)	Si (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)	Cu (%)	P (%)	S (%)	Al (%)	Zn (%)	Sn (%)	Pb (%)	Sb (%)	OBSERVAÇÕES
Test Piece Number															Notes / Observación
OUTROS TESTES Another Tests / Otras Pruebas															
☐ DUREZA: RELATÓRIO Nº : ☐ MACROGRAFIA: RELATÓRIO Nº : ☐ END: ☐ ☐ VISUAL: RELATÓRIO Nº : ☐ OUTROS : ☐															
Hardness Report Nº / Informe Nº Macrographic Tests Report Nº / Informe Nº NDT															
Visual Report Nº / Informe Nº Others															
OBSERVAÇÕES Remarks / Observaciones															
* Tubo "C", soldado seguindo a EPS: SA5711Z exceto a velocidade(mais devagar possível)															
* Diâmetro do Tubo utilizado para soldagem: Ø 125,00 mm															
* Teste de Dobramento: 2 sem aberturas.															
NOME/SINETE DO SOLDADOR : Marcio Luiz Moseli / TV POSIÇÃO DE SOLDAGEM : 1G															
Welder Name/Stamping Weld Position															
EQUIPAMENTOS UTILIZADOS : Máquina Universal de Ensaio: 101361-3															
Equipments															

ANEXO V - RELATÓRIO DE ENSAIO CORPO-DE-PROVA “A”

PROCEDIMENTO DE ENSAIO : IN06HLA-004		NORMAS DE ENSAIO : ASME IX ed. 2010		P.E : 4006/12 A											
Tests Procedure / Procedimiento de Prueba		Tests Standards / Normas de Pruebas													
APLICAÇÃO : Application / Aplicación		☐ QUALIFICAÇÃO DE EPS WPS Qualification / Calificación de EPS		☐ QUALIFICAÇÃO DE EPB BPS Qualification / Calificación de EPB											
		☐ QUALIFICAÇÃO DE SOLDADOR/OPERADOR DE SOLDAGEM Welder/Welding Operator Performance Qualification / Calificación de Soldador		☒ OUTRO : PESQUISA Other / Outro											
PROCESSO : Process / Proceso		☒ SOLDAGEM GMAW Welding		☐ BRASAGEM Brazing											
				☐ PROC. ESPECIAL (QW-380) Special Process / Proceso Especial											
MATERIAL DE BASE Base Material															
MATERIAL : Material	6101 T6	x	6101 T6	ESPESSURA : Thickness / Espesor	10 mm x 10 mm										
CORRIDA : Heat Number	764658	x	764658	INSPEÇÃO : Inspection Number	*** x ***										
METAL DE ADIÇÃO Filler Metal / Metal de Relleno															
ESPECIFICAÇÃO : Specification / Especificación	ER5356	FORNECEDOR : Supplier / Suministrador	Novametal	CERTIFICADO : Heat Number	***										
ESPECIFICAÇÃO : Specification / Especificación		FORNECEDOR : Supplier / Suministrador		CERTIFICADO : Heat Number											
ENSAIOS DE TRAÇÃO Tensile Tests / Pruebas de Tracción															
N° CP Test Piece Number	LARGURA Width / Ancho W (mm)	ESPESSURA Thickness / Espesor y (mm)	ÁREA Area (mm²)	CARGA Load (KgF)	TENSÃO Tensile Strength (MPa)										
T1	19,52	9,56	186,6	2129	111,81										
LOCALIZAÇÃO DA FRATURA Fracture Localization / Localización de la Fractura															
METAL DE BASE (Base Metal) - ZTA															
ESPECIFICADO (Specified)															
ENSAIOS DE IMPACTO Impact Tests / Pruebas de Impacto															
N° CP Test Piece Number	RESULTADOS DOS TESTES Test Results / Resultados de la Prueba		MÉDIA Average / Promedio	TAMANHO CP Test Piece Size / Dimensiones del CP	TEMPERATURA Temperature (°C)										
	(Kg.f.m)	Joules (J)	(J)	(Ft.Lbf)											
ESPECIFICADO Specified															
TESTES DE DOBRAMENTO Bend Tests / Prueba de Curvatura															
N° CP Test Piece Number	QUANTIDADE Quantity / Cantidad	TIPO Type	ÂNGULO Angle / Ángulo Gravs (Degrees)	Ø MANDRIL Ø Tool / Herramienta (mm)	RESULTADO Result										
CP	2	DOBRAMENTO TRANSVERSAL LATERAL (Transverse Side Bend)	180	100	REPROVADO (Reproved / Rechazado)										
ANÁLISE QUÍMICA Chemical Analysis / Análisis Químico															
N° CP Test Piece Number	C (%)	Mn (%)	Si (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)	Cu (%)	P (%)	S (%)	Al (%)	Zn (%)	Sn (%)	Pb (%)	Sb (%)	OBSERVAÇÕES Notes / Observación
OUTROS TESTES Another Tests / Otras Pruebas															
☐ DUREZA: RELATÓRIO N° : Hardness Report N° / Informe N°															
☐ MACROGRAFIA: RELATÓRIO N° : Macrographic Tests Report N° / Informe N°															
☐ END: NDT															
☐ VISUAL: RELATÓRIO N° : Visual Report N° / Informe N°															
☐ OUTROS : Others															
OBSERVAÇÕES Remarks / Observaciones															
* Tubo "A", soldado seguindo a EPS: SA5711Z exceto o Pré-Aquecimento (Tamb.) e interpass (ilimitada)															
* Diâmetro do Tubo utilizado para soldagem: Ø 125,00 mm															
* Teste de Dobramento: 1 quebrou, 1 com abertura de 3 mm.															
NOME/SINETE DO SOLDADOR : Marcio Luiz Moseli / TV Welder Name/Stamping															
POSICÃO DE SOLDAGEM : 1G Weld Position															
EQUIPAMENTOS UTILIZADOS : Máquina Universal de Ensaios: 101361-3 Equipments															

ANEXO VI - RELATÓRIO DE ENSAIO CORPO-DE-PROVA "D"

PROCEDIMENTO DE ENSAIO :		IN06HLA-004		NORMAS DE ENSAIOS :		ASME IX ed. 2010		P.E :		4004/12 D					
Tests Procedure / Procedimiento de Prueba				Tests Standards / Normas de Pruebas											
APLICAÇÃO :		☐ QUALIFICAÇÃO DE EPS		☐ QUALIFICAÇÃO DE EPB		☐ QUALIFICAÇÃO DE BRASADOR/OPERADOR DE BRASAGEM									
Application / Aplicación		WPS Qualification / Calificación de EPS		BPS Qualification / Calificación de EPB		Braze Operator Performance Qualification / Calificación de Brasador									
		☐ QUALIFICAÇÃO DE SOLDADOR/OPERADOR DE SOLDAGEM				☒ OUTRO : PESQUISA									
		Welder/Welding Operator Performance Qualification / Calificación de Soldador				Other / Outro									
PROCESSO :		☒ SOLDAGEM GMAW		☐ BRASAGEM		☐ PROC. ESPECIAL (QW-380)									
Process / Proceso		Welding		Braze		Special Process / Proceso Especial									
MATERIAL DE BASE															
Base Material															
MATERIAL :		6101 T6		x		6101 T6		ESPESSURA :		10 mm x 10 mm					
Material								Thickness / Espesor		Supplier / Suministrador					
CORRIDA :		764658		x		764658		INSPEÇÃO :		*** x ***					
Heat Number								Inspection Number							
METAL DE ADIÇÃO															
Filler Metal / Metal de Relleno															
ESPECIFICAÇÃO :		ER5356		FORNECEDOR :		Novametal		CERTIFICADO :		***					
Specification / Especificación				Supplier / Suministrador				Heat Number		CORRIDA : 38877					
ESPECIFICAÇÃO :				FORNECEDOR :				CERTIFICADO :							
Specification / Especificación				Supplier / Suministrador				Heat Number		CORRIDA :					
ENSAIOS DE TRAÇÃO															
Tensile Tests / Pruebas de Tracción															
N° CP	LARGURA	ESPESSURA	ÁREA	CARGA	TENSÃO	LOCALIZAÇÃO DA FRATURA									
Test Piece Number	Width / Ancho	Thickness / Espesor	Area	Load	Tensile Strength	Fracture Localization / Localización de la Fractura									
	W (mm)	y (mm)	(mm²)	(Kgf)	(MPa)										
T1	19,08	9,78	186,6	2623	137,75	METAL DE BASE (Base Metal)									
ESPECIFICADO (Specified)															
ENSAIOS DE IMPACTO															
Impact Tests / Pruebas de Impacto															
N° CP	RESULTADOS DOS TESTES				MÉDIA		TAMANHO CP	LOCALIZAÇÃO DO ENTALHE		TEMPERATURA					
Test Piece Number	Test Results / Resultados de la Prueba				Average / Promedio		Test Piece Size / Dimensiones del CP	Notch Location / Posición del Entalhe		Temperature					
	(Kgf.m)				(J)					(°C)					
ESPECIFICADO		MIN													
Specified		MAX													
TESTES DE DOBRAMENTO															
Bend Tests / Prueba de Curvatura															
N° CP	QUANTIDADE	TIPO				ÂNGULO	Ø MANDRIL	RESULTADO							
Test Piece Number	Quantity / Cantidad	Type				Angle / Ángulo	Ø Tool / Herramienta	Result							
						Graus (Degrees)	(mm)								
CP	2	DOBRAMENTO TRANSVERSAL LATERAL (Transverse Side Bend)				180	100	REPROVADO (Reproved / Rechazado)							
ANALISE QUÍMICA															
Chemical Analysis / Análisis Químico															
N° CP	C (%)	Mn (%)	Si (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)	Cu (%)	P (%)	S (%)	Al (%)	Zn (%)	Sn (%)	Pb (%)	Sb (%)	OBSERVAÇÕES
Test Piece Number															Notes / Observación
OUTROS TESTES															
Another Tests / Otras Pruebas															
☐ DUREZA: RELATÓRIO N° :		☐ MACROGRAFIA: RELATÓRIO N° :		☐ END:											
Hardness Report N° / Informe N°		Macrographic Tests Report N° / Informe N°		NDT											
☐ VISUAL RELATÓRIO N° :		☐ OUTROS :													
Visual Report N° / Informe N°		Others													
OBSERVAÇÕES															
Remarks / Observaciones															
* Tubo "D", soldado seguindo a EPS: SA5711Z exceto o interpass (ilimitado)															
* Diâmetro do Tubo utilizado para soldagem: Ø 125,00 mm															
* Teste de Dobramento: 1 sem defeitos, 1 abriu a partir de um canto, na linha de fusão.															
NOME/SINETE DO SOLDADOR :						POSIÇÃO DE SOLDAGEM :									
Welder Name/Stamping						Weld Position									
EQUIPAMENTOS UTILIZADOS :															
Equipments															