

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE PINDAMONHANGABA

**SOLDAGEM DE CHAPA DE ALUMÍNIO LIGA AA 6061,
PELO PROCESSO TIG**

GLEISON CRISTIAN CUSTÓDIO

**Pindamonhangaba – SP
2010**

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE PINDAMONHANGABA

**SOLDAGEM DE CHAPA DE ALUMÍNIO LIGA AA 6061,
PELO PROCESSO TIG**

GLEISON CRISTIAN CUSTÓDIO

Monografia apresentada à Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba, para graduação no Curso Superior de Tecnologia em Metalurgia.

Área de concentração: Soldagem de alumínio, Solubilização e envelhecimento artificial.

Orientador: Prof. Amir Rivaroli Junior

**Pindamonhangaba – SP
2010**

C991s Custódio, Gleison Cristian
Soldagem de chapa de alumínio liga AA 6061, pelo
processo TIG / Gleison Cristian Custódio / FATEC
Pindamonhangaba, 2010.
xi,36f.: il.; 30 cm.

Orientador Prof. Amir Rivaroli Junior
Monografia (Graduação) – FATEC – Faculdade de
Tecnologia de Pindamonhangaba. 2010

1.Alumínio. 2.Soldagem. 3.Solubilização.
4.Envelhecimento. I. Rivaroli Junior, Amir II. Título.

CDU 669.71

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha esposa e filha.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a todas as pessoas que contribuíram para a elaboração deste trabalho, aos amigos do curso, aos professores e a empresa Cone Indústria, Comércio e Manutenções Ltda que me apoiou na teoria e na prática.

Custódio, G. C. **SOLDAGEM DE CHAPA DE ALUMÍNIO LIGA AA 6061PELO PROCESSO TIG**. Pindamonhangaba, 2010. 34p Monografia. Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba.

RESUMO

O processo de soldagem afeta diretamente as propriedades mecânicas do alumínio, fazendo com que ele perca resistência à tração, diminuição do limite de escoamento, aumento na porcentagem do alongamento, aumento do alongamento na carga máxima, aumento no alongamento linear, e diminuição do módulo de elasticidade. Os resultados preliminares mostraram modificações nas propriedades mecânicas nos corpos de prova sem tratamento pós-soldagem, enquanto os que passaram pelos tratamentos de solubilização e envelhecimento artificial recuperaram parte destas propriedades perdidas.

Palavras-chave: Alumínio, soldagem, solubilização, envelhecimento.

ABSTRACT

The welding process directly affects the mechanical properties of aluminum, causing it to lose tensile strength, yield strength decreased, increased the percentage of elongation, an increase of elongation at maximum load, linear increase in elongation, and reduction of the module elasticity. Preliminary results showed changes in mechanical properties of the specimens without post-weld treatment, while those who experienced the treatment and artificial aging of solubilization of these recovered lost property.

Keywords: Aluminium, welding, solubilization, aging.

OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo verificar as propriedades mecânicas de uma chapa de alumínio da liga AA6061 T6 soldada pelo processo TIG, utilizando como metal de adição o ER4043, comparando resultados obtidos através de ensaio de tração em corpos de prova com e sem tratamento térmico após a soldagem e as melhorias que os tratamentos térmicos fornecem.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura – Título	p
Figura 01 - Ligas de alumínio tratáveis e não tratáveis termicamente	14
Figura 02 - Diagrama esquemático do processo TIG	16
Figura 03 - Corte de amostra com plasma	21
Figura 04 - Corte da zona termicamente afetada na chapa pelo corte a plasma	21
Figura 05 - Usinagem dos chanfros	22
Figura 06 - Travamento, aterramento e pré-aquecimento da chapa e controle da temperatura	23
Figura 07 - Soldagem pelo processo TIG	24
Figura 08 - Chapa soldada pelo processo TIG	25
Figura 09 - Disposição dos corpos de prova na chapa soldada	25
Figura 10 - Corte da chapa soldada	26
Figura 11 - Geometria do corpo de prova	26
Figura 12 - Corpos de prova aquecidos em forno elétrico	27
Figura 13 - Resfriamento rápido em água	28
Figura 14 - Contraste do metal de adição com o do metal base	28
Figura 15 - Escoamento do corpo de prova CP 03	29
Figura 16 - Ruptura do CP 03	30
Figura 17 - Inclusões macroscópicas na região da solda	32
Figura 18 - Esquerda: Região da solda, 200X, sem ataque corpo de prova CP 05; Direita: Poros e contornos de grão, 500x, com ataque 10% hidróxido de sódio, corpo de prova CP 05	32
Figura 19 - Ensaio MEV do corpo de prova CP 05	33

LISTA DE TABELAS

Tabela-título	p
Tabela 1 – Tabela das Propriedades mecânicas típicas de juntas em topo pelo processo TIG	30
Tabela 2 – Resultados obtidos no ensaio de tração	31

LISTA DE ABREVIACÃO E SIGLAS

AA	Aluminum Association
ABAL	Associação Brasileira do Alumínio
ASME	American Society of Mechanical Engineers
MEV	Microscópio Eletrônico Varredura
TIG	Tungsten Inert Gás
ZTA	Zona Termicamente Afetada

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	13
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1-O alumínio	13
2.2-Classificação das ligas de alumínio	13
2.3-Soldabilidade do alumínio	15
2.4-Soldagem pelo processo TIG	15
2.5-Tratamento térmico de solubilização e envelhecimento artificial do alumínio	17
2.5.1-Solubilização	17
2.5.2-Envelhecimento	18
3 - MATERIAIS E METODOLOGIA	19
3.1-Metal base	19
3.2-Metal de adição	19
3.3-Preparação do corpo de prova	20
3.3.1-Corte da chapa e usinagem dos chanfros	20
3.3.2-Soldagem da chapa	22
3.3.3- Corte da geometria do corpo de prova	24
3.4-Tratamento térmico	27
3.5-Ensaio de tração	29
4 – RESULTADOS	30
4.1 – Resultados obtidos no ensaio de tração	30
4.2 -Ensaio metalográfico	31
4.3 - Ensaio MEV	32
5 – CONCLUSÃO	34
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	35

1- INTRODUÇÃO

O alumínio AA6061 T6 é uma liga de alumínio magnésio silício (em proporções para formar Mg_2Si), solubilizado, envelhecido artificialmente, é uma liga estrutural utilizada na fabricação de bens de consumo como chassis de bicicletas, peças automotivas, aeronáuticas, estruturas soldadas, construção civil, além de outros. O processo de soldagem de alumínio é uma tecnologia que auxilia positivamente nos resultados na produção, proporcionando variedade de formas e economia, podendo ocasionar modificações nas propriedades mecânicas, sendo necessários tratamentos térmicos de solubilização e envelhecimento para recuperá-los.

2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - O alumínio

O alumínio puro (99,9%) apresenta baixa resistência mecânica, porém alta ductilidade. Aumenta-se a resistência mecânica acrescentando elementos de liga.

O alumínio é um metal leve não ferroso, com somente 1/3 do peso do aço ocupando o mesmo volume, com densidade de $2,7 \text{ Kg/cm}^3$ de cor branca acinzentada, tem boa resistência a corrosão ambiental, não magnético, bom condutor de calor e excelente condutor elétrico.

Temperatura de fusão: 660°C , mas torna-se menor quando elementos de liga são adicionados.

Resistência à tração (MPa): recozido 45; laminado a frio: 115;

Dureza: 20 a 45 HB;

Condutibilidade elétrica: 64% da Condutibilidade do Cobre. Por ser mais barato que o cobre, o alumínio acaba sendo uma boa opção para condutores elétricos.

(ALCAN, 1993 e EUTECTIC DO BRASIL, 2005).

O alumínio passou a ser usado na indústria após seu emprego na construção aeronáutica e passou a ser soldado após a criação da soldagem com corrente alternada (AC).

2.2 – Classificação das ligas de alumínio

As ligas de alumínio são classificadas pela norma brasileira NBR 6834, que é baseada na norma Norte Americana "Aluminum Association" de 1969. Esta norma classifica as ligas de

alumínio em ligas trabalháveis e ligas fundidas. As ligas trabalháveis são divididas em ligas não tratáveis termicamente e tratáveis termicamente.

As ligas não tratáveis termicamente são compostas pelas séries 1XXX (Al puro); 3XXX (Al-Mn); 4XXX (Al-Si); e 5XXX (Al-Mg). As propriedades mecânicas destas ligas são alteradas através de trabalho mecânico a frio (encruamento).

Ligas tratáveis termicamente são compostas pelas ligas das séries 2XXX (Al- Cu); 6XXX (Al-Mg-Si) e 7XXX (Al-Zn). Estas ligas reagem a tratamentos térmicos podendo ser alcançados níveis mais altos de resistência mecânica. Quando são utilizadas em aplicações a temperaturas elevadas como na soldagem, por exemplo, ocorre uma diminuição nas propriedades mecânica da união. Este efeito pode ser revertido através dos tratamentos térmicos de solubilização e envelhecimento.

No grupo da série 1XXX os dois últimos dígitos da designação indicam os centésimos da porcentagem mínima de alumínio, ou seja, o arame ER1100 possui percentual de 99,00% de pureza. O segundo dígito (1) indica que houve um controle especial de elementos presentes como impureza, esta indicação é feita com algarismos de 1 a 9, quando for 0 (zero) representa que não houve este controle de impurezas. Nos outros grupos de ligas (2XXX a 8XXX), os dois últimos dígitos servem apenas para indicar as diferentes ligas do grupo, o segundo dígito significa modificação na liga, 1 a 9 liga original é modificada e 0 (zero) liga original não é modificada.

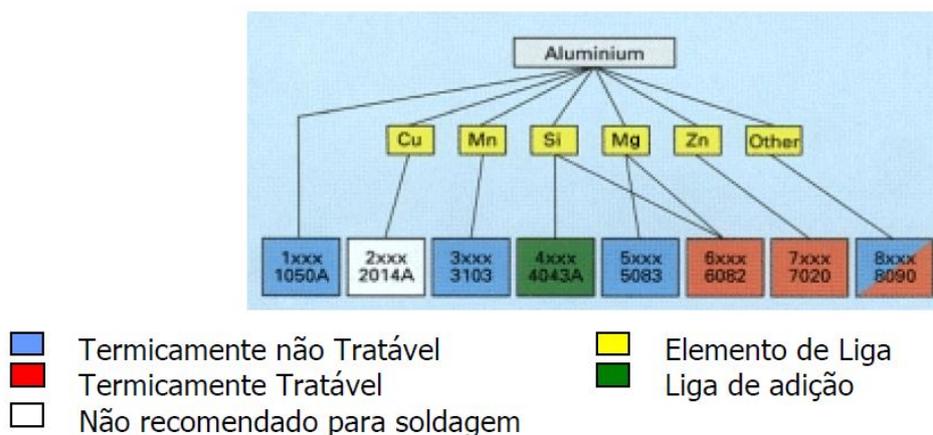


Figura 1 – Ligas de alumínio tratáveis e não tratáveis termicamente (Oxigen,2008)

(ALCAN, 1993; Wainer & Emílio, 1992; Eutectic do Brasil Ltda, 2005; Castolin Eutectic, 2005; Wite Martins, 2003; CAVSTEEL WELDING, 2004).

2.3 – Soldabilidade do alumínio

O termo soldabilidade está associado à facilidade com que uma liga pode ser soldada, produzindo uma junta com adequada resistência mecânica, resistência à corrosão e outras propriedades quando necessárias.

As ligas tratáveis termicamente da série 6XXX (Al-Mg-Si) também apresentam fragilidade a quente e podem sofrer graves fissurações durante a solidificação, se soldadas sem metal de enchimento ou usando metal de enchimento com a mesma composição do metal base. A eliminação do problema pode ser conseguida pelo uso de metais de enchimento de Al-Mg com 5% de Mg ou de Al-Si (ER-4043), para conduzir a composição do metal de solda a uma faixa que não seja de fragilidade à quente. Nos casos em que for importante uma coincidência de tonalidade entre o metal de solda e o metal base, tal como, por exemplo, nos conjuntos anodizados, recomenda-se o uso de metal de adição com 5% de Magnésio. Em se tratando de juntas com diluição pelo metal base superior a 80%, como, por exemplo, nas juntas de topo com arestas paralelas e sem abertura, é possível obter-se uma resposta ao tratamento térmico de solubilização posteriormente à soldagem, usando-se qualquer uma das ligas de enchimento.

Exceto quando o material de base está no estado recozido ou fundido, o processo de soldagem por fusão provoca uma redução das propriedades nas ligas tratáveis e não tratáveis termicamente, as principais influências do processo de soldagem se dão no cordão de solda e na ZTA (Zona Termicamente Afetada), na qual há transformações microestruturais e em consequência disto ocorrem alterações das propriedades mecânicas por causa do processo de soldagem.

A largura dessas áreas e o grau de transformações metalúrgicas ocorridas principalmente nas ligas tratáveis termicamente variam de acordo com a espessura e geometria da junta, do processo e do procedimento de soldagem, das temperaturas de pré-aquecimento e interpasse dos cordões de solda, do efeito térmico da superfície de apoio e dos dispositivos de fixação. (CAVSTEEL WELDING, 2004).

2.4 – Soldagem pelo processo TIG

O processo de solda TIG (Tungsten Inert Gás) surgiu no período da corrida espacial.

Utiliza como fonte de calor um arco elétrico mantido entre um eletrodo não consumível de tungstênio e a peça a soldar. A proteção da região de soldagem é feita por um fluxo de gás inerte. A soldagem pode ser feita com ou sem metal de adição e pode ser manual ou automática.

Os gases mais utilizados na soldagem TIG são o argônio, o hélio ou suas misturas. Qualquer que seja o gás de proteção, sua pureza deve ser 99,99%. (Wainer & Emílio, 1992).

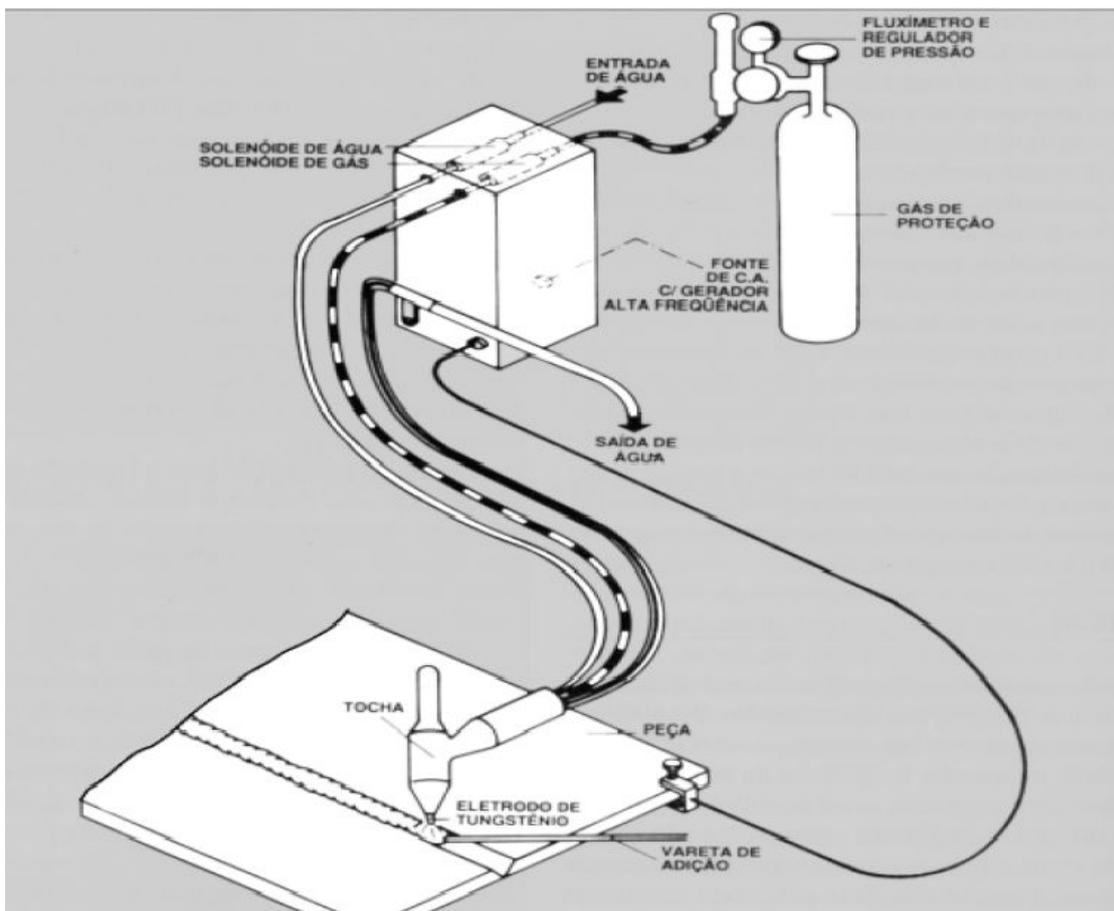


FIGURA 2 - Diagrama esquemático do processo TIG. (ALCAN, 1993).

Vantagens do processo TIG:

- Produz soldas de alta qualidade;
- Solda a maioria dos metais e ligas;

- Poça de fusão calma;
- Fonte de calor concentrada, minimizando a zona afetada termicamente e distorções.

Limitações:

- Processo com baixa taxa de deposição;
- Impossibilidade de soldagem em locais com corrente de ar;
- possibilidade de inclusão de tungstênio na solda;
- Emissão intensa de radiação ultravioleta.

Atualmente o processo TIG é mais utilizado na soldagem de ligas de alumínio, magnésio, titânio, e aços inoxidáveis, entre outros. A solda produzida é de muito boa qualidade.

(WAINER & EMÍLIO, 1992)

2.5 – Tratamento térmico de solubilização e envelhecimento artificial do alumínio

O tratamento térmico do metal alumínio refere-se aos processos básicos de aquecimento e/ou resfriamento controlado do metal, com o principal objetivo de gerar benefícios e melhorar as características metal-mecânicas das peças produzidas em alumínio.

(ABAL - Associação Brasileira do Alumínio)

2.5.1-Solubilização

O processo térmico de solubilização é o aquecimento do metal alumínio (peça, barra, tarugo, placa, etc.) a uma temperatura muito elevada, próxima da linha de início de fusão. O objetivo da solubilização é por em solução sólida a maior quantidade possível de átomos de soluto. Numa linguagem mais coloquial, deseja-se dissolver ao máximo possível, todos os elementos presentes na liga de alumínio no próprio alumínio, sendo que este deve permanecer no estado sólido, onde a fusão ou o super aquecimento, mesmo que sejam parciais ou localizados, devem ser evitados.

Essa dissolução dos elementos presentes na liga leva um determinado tempo e temperatura para ser concluída e esse tempo deve ser o suficiente para que também haja a total dissolução de todas as fases do metal. Testes experimentais e laboratoriais podem determinar qual é o tempo ideal para que ocorra a total dissolução de todos os elementos, isso depende da liga, da geometria da peça e das espessuras de parede da peça (no caso de haver mais de uma). Deve-se tomar o cuidado para não oxidar demasiadamente a superfície da peça (no caso de

não haver atmosfera controlada), aumentar demasiada ou descontroladamente o tamanho de grão do material (o grão também aumenta em função do tempo em temperatura) e desperdiçar energia desnecessariamente na solubilização. O melhor método para uma correta definição do tempo, da velocidade de aquecimento e da temperatura ideal para cada liga e cada peça, tendo assim uma correta solubilização, é a metalografia em corpos de prova tratados, em tempos crescentes, em uma dada temperatura a ser testada, para cada tipo diferente de liga de alumínio. Isso é muito útil em peças que possuem geometrias muito diferenciadas. O processo de solubilização é vital para um perfeito envelhecimento posterior e é um fator preponderante para atingir as características mecânicas desejadas.

Logo após a solubilização, em correta temperatura e tempo, o material deve ser temperado, ou seja, resfriado rapidamente. Esta etapa do processo térmico de solubilização é de suma importância e requer máxima atenção, pois se deseja que com esse resfriamento rápido, a solução sólida supersaturada, que anteriormente estava em alta temperatura, permaneça idêntica em temperatura ambiente. O meio usualmente utilizado para temperar (resfriar) o material é a água. O resfriamento ao ar permite a formação de precipitados descontroladamente, não proporcionando a melhor resposta possível, quando realizar o envelhecimento.

Logo após a solubilização e o resfriamento rápido (têmpera), inicia-se o processo de envelhecimento, seja ele natural (a temperatura ambiente) ou artificial (a uma temperatura mais elevada e controlada). Este processo de envelhecimento é realizado em temperaturas bem inferiores e em tempos superiores, se comparado ao processo de solubilização. No processo de envelhecimento natural, além de não se controlar completamente a formação dos precipitados que endurece o material, os tempos para a geração destes precipitados são mais longos, ou seja, a formação dos precipitados é lenta e demorada, se comparado ao envelhecimento artificial. Se o processo de envelhecimento (formação de precipitados) não for corretamente controlado pode não se formar a quantidade e a distribuição correta dos precipitados, não se atingindo a resistência desejada, ou também, pode se gerar um excesso no tamanho dos precipitados, fato que também não proporciona as melhores características mecânicas. Este segundo caso, é conhecido como superenvelhecimento.

(ABAL - Associação Brasileira do Alumínio)

2.5.2-Envelhecimento

O envelhecimento (seja artificial ou natural) é o processo pelo qual passa o metal alumínio, após ser solubilizado e resfriado rapidamente. Proporciona uma correta difusão dos átomos de soluto (aquilo que foi dissolvido na solubilização) e permite a formação de finos precipitados endurecedores. Estes finos precipitados endurecedores devem ter o tamanho e a quantidade suficiente para impedir a movimentação das discordâncias e por consequência endurecer a liga. Metaforicamente exemplificando, imagine diminutas esferas de pedras duras de mármore, muito duras e pequenas, perfeitamente equidistantes em uma placa de isopor, onde as pedras duras de mármore são os precipitados e o isopor é o alumínio, isso é envelhecimento. Se for a temperatura ambiente, trata-se do envelhecimento natural, se for a uma temperatura e tempo controlado trata-se de envelhecimento artificial. A temperatura para o envelhecimento da liga de alumínio ABNT 6063, por exemplo, é de 175° Celsius e o tempo em temperatura, pode chegar a 8 horas, sendo que isso pode mudar ligeiramente em função da geometria e da espessura da peça.

(ABAL - Associação Brasileira do Alumínio)

3 - MATERIAIS E METODOLOGIA

3.1 Metal base

A liga escolhida AA6061 T6 é uma liga de alumínio magnésio silício (em proporções para formar Mg_2Si), solubilizado, envelhecido artificialmente.

Composição química:

Si 0,4 - 0,8%; Fe 0,70%; Cu 0,15 - 0,4%; Mn 0,15%; Mg 0,9 – 1,2%; Cr 0,15 – 0,35%; Zn 0,20%; Ti 0,15%; Cada 0,05%; Total 0,15%.

A percentagem de Al é a diferença entre 100% e a somatória dos demais elementos metálicos com percentagem superior a 0,010% expressa até a segunda casa decimal.

O Magnésio proporciona resistência à corrosão em atmosferas marinhas, boa usinabilidade e soldabilidade.

O Silício melhora a resistência à corrosão, baixa o ponto de fusão auxiliando a fundibilidade.

Possui limite de resistência à tração de 310 Mpa, e limite elástico de 144 Mpa.

(ALCAN, 1993)

3.2 Metal de adição

Classificação: A nomenclatura que a norma AWS A 5.10 utiliza para classificar os eletrodos e varetas é composta por quatro dígitos numéricos procedidos das letras E e R, conforme exemplo abaixo:

ER-4043 Parte Numérica: Identifica a liga e para tal utiliza a mesma nomenclatura da “Aluminum Association”.

Letras E e R: As letras utilizadas como prefixo / designam de que forma o metal de adição é empregado.

O prefixo R indica que o metal de adição é apropriado para se utilizado com vareta de soldagem, e o prefixo E como eletrodo.

Uma vez que, alguns destes metais de adição são utilizados como eletrodo no processo MIG e como varetas de soldagem nos processos TIG, plasma e a gás por oxi-combustível, ambas as letras E e R são utilizadas para indicar o emprego do metal de adição na forma de vareta de soldagem ou eletrodo.

O material de adição escolhido é da liga ER 4043, recomendado para soldagem de Alumínio-Silício de alta qualidade. É uma liga para uso geral de soldagem, sendo uma das mais antigas e uma das mais amplamente usadas por ter boa fluidez devido ao Silício, que torna esta liga preferida pelos soldadores. É menos sensível a trincas de soldagem e produz depósitos brilhantes e praticamente isentos de manchas.

Propriedades típicas do ER4043:

Condutividade: 42% IACS (-O)

· Resistência à corrosão: Boa

· Cor de anodização: Cinza

Temperatura de fusão: 574 a 632 °C

Resistência à tração: 23 Kg/mm²

Composição química do ER4043

Silício 4.50-6.00, Ferro* 0.80, Cobre* 0.30, Manganês* 0.05, Magnésio* 0.05, Cromo -, Zinco* 0.10, Titânio* 0.20, Berilo* 0.0008, Outros* Cada 0.05, Total 0.15, Al Resto.

* Valores máximos, salvo indicações específicas.

(Eutectic do Brasil Ltda, 2005; CAVSTEEL WELDING, 2004).

3.3 – Preparação do corpo de prova

3.3.1 - Corte da chapa e usinagem dos chanfros

Utilizando o método de corte a plasma, foi retirado amostra de material de chapa, deixando um sobremetal de trinta milímetros para não sofrer influência do aquecimento resultante do corte.



FIGURA 03 - Corte de amostra com plasma

Foram cortadas em serra vertical as bordas afetadas e usinados dois chanfros em fresadora com ângulo de 45°.



FIGURA 4 – Corte da zona termicamente afetada na chapa pelo corte a plasma



FIGURA 5 – Usinagem dos chanfros

3.3.2- Soldagem da chapa

Antes de começar a soldagem foi feita limpeza, fixação e pré-aquecimento da chapa com maçarico, sempre monitorando a temperatura da chapa com um termômetro digital laser, para não deixar a temperatura ultrapassar 150°C.

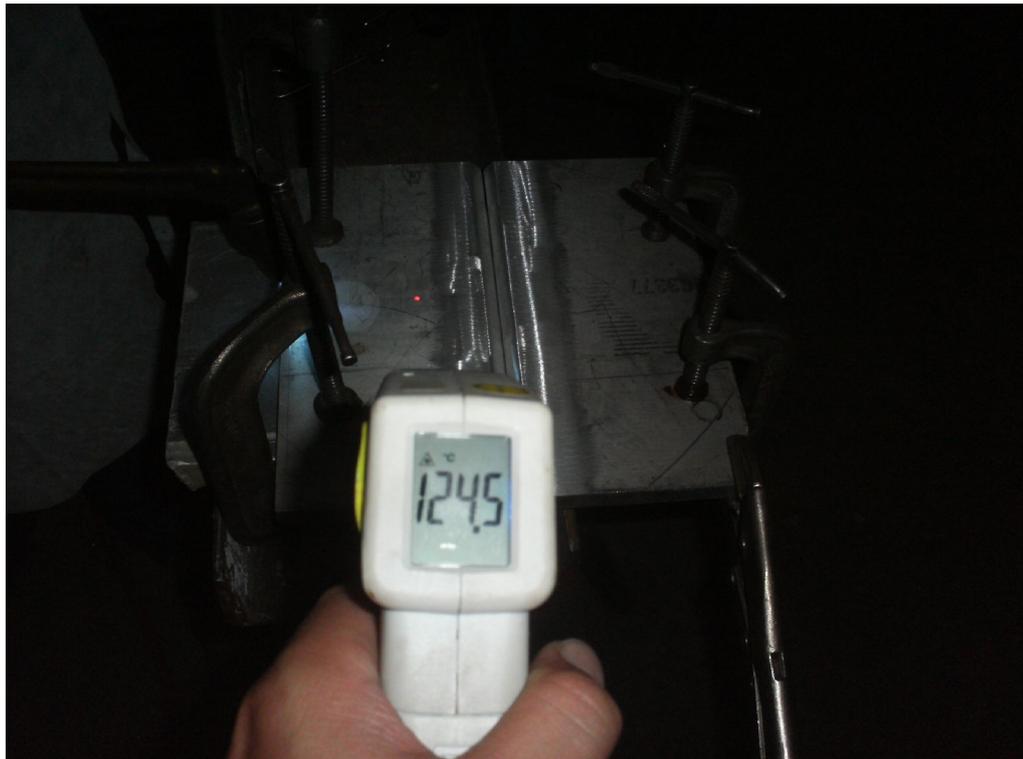


FIGURA 6 – Travamento, aterramento e pré-aquecimento da chapa e controle da temperatura

A camada de óxido de alumínio, e também qualquer outro tipo de impureza presente na superfície do material foi removida, para evitar contaminação e formação de poros na solda.

Esta remoção foi feita por meios mecânicos, por uso de escovas de aço inoxidável, esmerilhadeira com discos flexíveis, e por meio químico, este último para remover oleosidade.

Para se reduzir custos com a preparação, foi feita uma devida estocagem do material, deixando-o protegido da umidade, e cuidados no manuseio foram tomados para se evitar riscos na superfície do material.

A remoção da umidade foi feita por aquecimento, sendo este aquecimento monitorado, tendo objetivo de não ficar por um período longo (no máximo trinta minutos) para não prejudicar as características mecânicas do material.

Tipo de junta: duplo v a 90°, com pré-aquecimento monitorado.

(ALCAN, 1993; CASTOLIN EUTECTIC, 2005; CAVSTEEL WELDING, 2004).

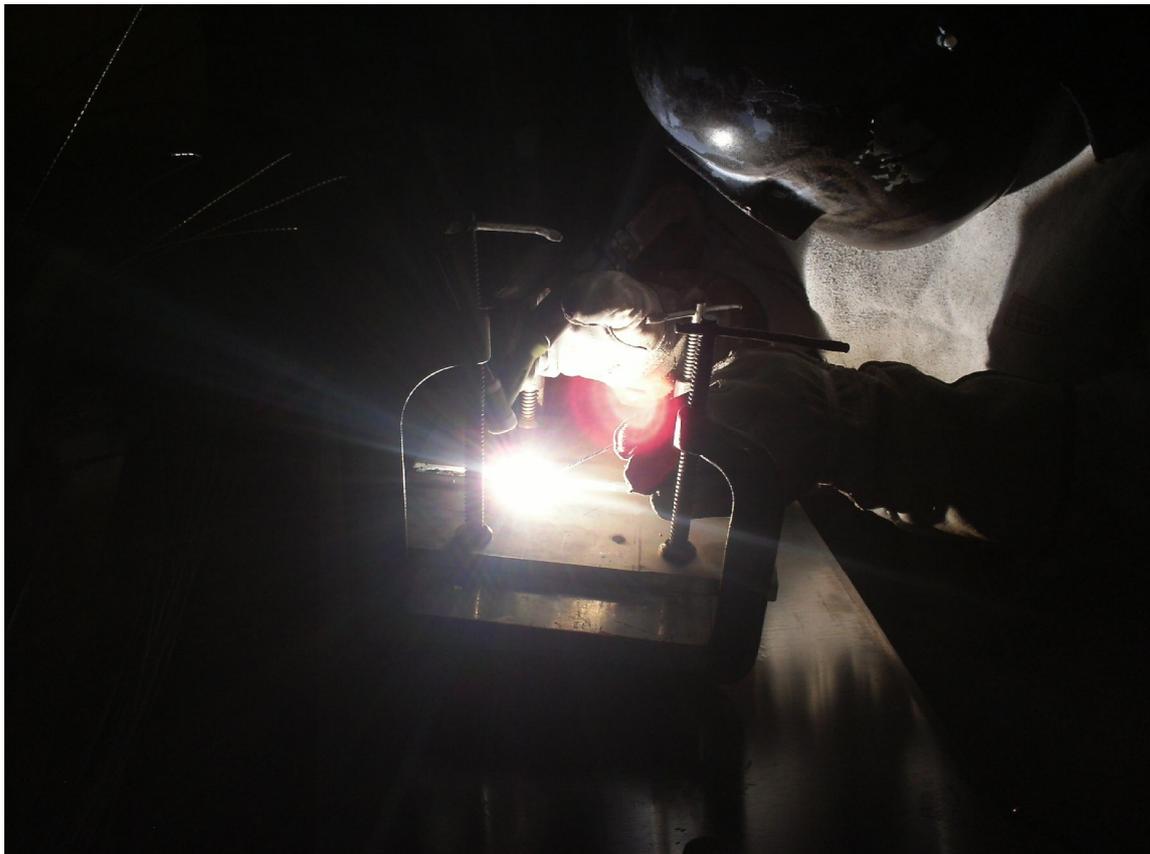


FIGURA 7- Soldagem pelo processo TIG.

3.3.3 – Corte da geometria do corpo de prova

Após o resfriamento em temperatura ambiente, retirou-se o excesso de solda por usinagem em fresadora. Obedecendo ao sentido de laminação da chapa, foram cortadas as tiras em serra vertical e usinados o perfil do corpo de prova conforme norma ASME IX.



FIGURA 8 – Chapa soldada pelo processo TIG

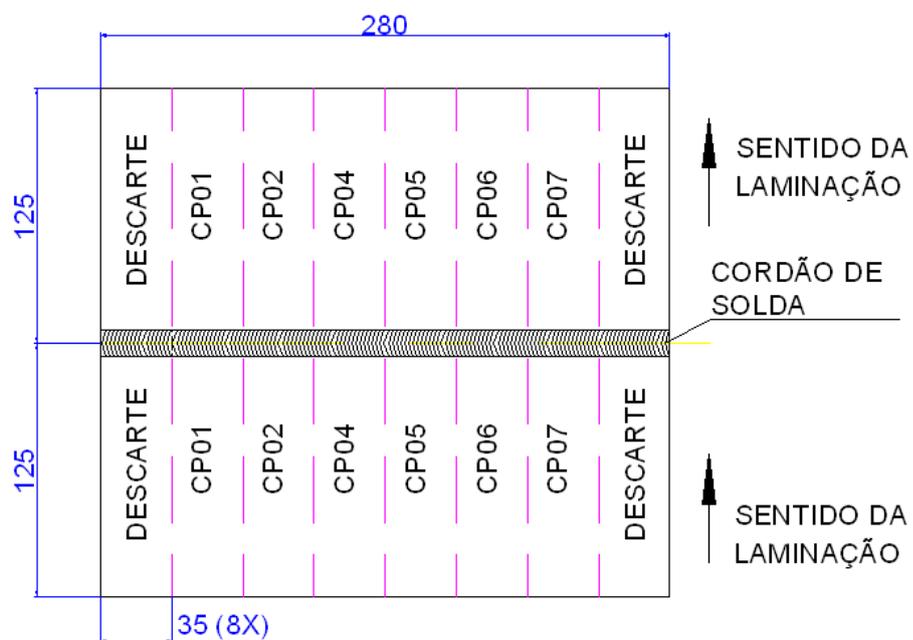


Figura 9 - Disposição dos corpos de prova na chapa soldada (ASME IX)



Figura 10 - Corte da chapa soldada

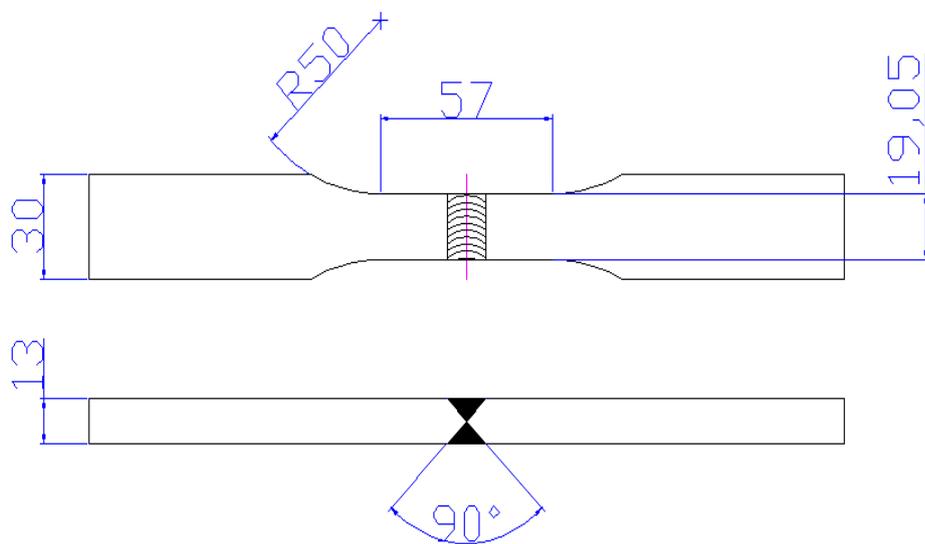


Figura 11 - Geometria do corpo de prova (ASME IX)

3.4 – Tratamento térmico

Os corpos de prova que foram tratados termicamente passaram pelo processo de solubilização, sendo aquecidos a 530°C por cinco horas, mantendo nesta temperatura por 8 horas, sendo retirados do forno e resfriados rapidamente em água a aproximadamente 20°C, depois reaquecidos a 175°C por doze horas. O forno foi desligado e aguardado o resfriamento até a temperatura ambiente.

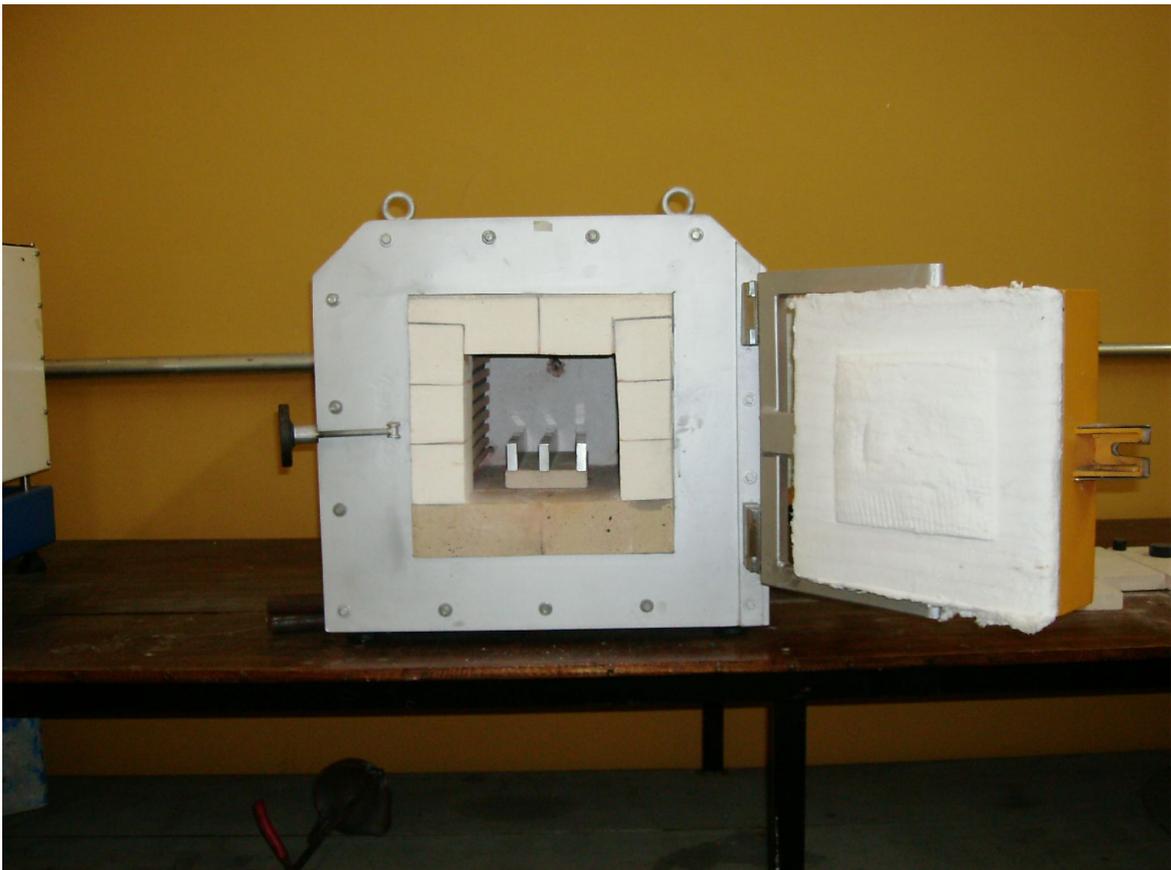


FIGURA 12 – Corpos de prova aquecidos em forno elétrico



FIGURA 13 – Resfriamento rápido em água



Figura 14 – Contraste do metal de adição com o do metal base

3.5 – Ensaio de tração

O ensaio de tração foi realizado em um corpo de prova sem solda, três com solda sem tratamento térmico e três com solda e tratamento térmico.

Sendo identificados:

CP03, corpo de prova sem solda;

CP01, CP02, CP04, corpos de prova com solda e sem tratamento térmico;

CP05, CP06, CP07, corpos de prova com solda e tratamento térmico.

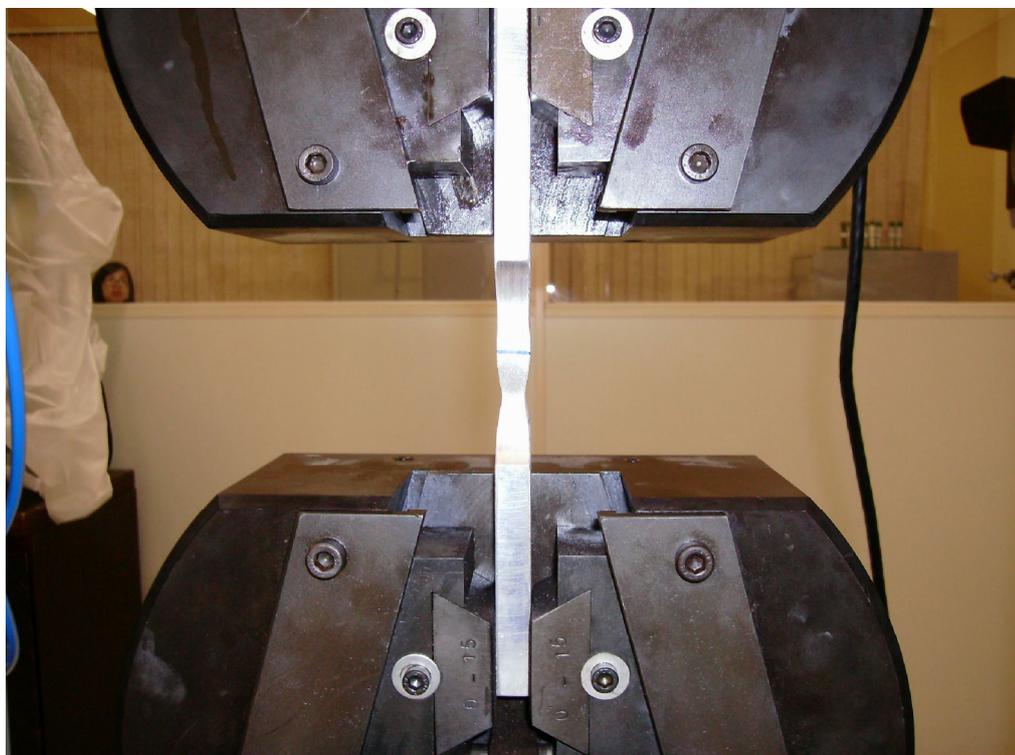


Figura 15- Escoamento do corpo de prova CP 03



FIGURA 16 – Ruptura do CP 03

Foi utilizada a tabela do fabricante do consumível utilizado, o CasToTig 4043, como referência das propriedades mecânicas desejadas neste trabalho, Nela estão indicados os valores para o metal base AA6061 com o metal de adição CasToTig 4043.

Tabela 1 – Tabela das Propriedades mecânicas típicas de juntas em topo pelo processo TIG

SOLDAR AA6061 COM	COMO DEPOSITADO			TRATADO TERMICAMENTE APÓS SOLDAGEM E ENVELHECIDO		
	LR (MPA)	LR (MPA)	ALONGA- MENTO-%	LR (MPA)	LR (MPA)	ALONGA- MENTO-%
ER 4043	186	124	8	303	276	5

(CASTOLIN EUTECTIC, 2005)

4 – RESULTADOS

4.1 – Resultados obtidos no ensaio de tração

O ponto de ruptura dos corpos de prova CP01, CP02 e CP04 foram na linha de junção do metal base com o de adição, no CP 05, CP06 e CP07 o ponto de ruptura foi no centro da solda e o CP 03 apresentou ruptura no centro da sua geometria.

Tabela 2 – Resultados obtidos no ensaio de tração

Amostra Número	IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA	FORÇA MÁXIMA N	LIMITE DE RESISTÊNCIA N/mm ²	LIMITE DE ESCOAMENTO N/mm ²	RELAÇÃO LR/LE	ALONGAMENTO %	ALONGAMENTO LINEAR mm	ALONGAMENTO(%) CARGA MÁXIMA %	ALONG.LINEAR CARGA MÁXIMA mm	MÓDULO DE ELASTICIDADE N/mm ²
1	CP 03	81151,32	321,3	315,75	1,02	22,5	49	31	12,4	1728,95
2	CP 01	35951,75	143,04	87,71	1,63	28,75	51,5	37,13	14,85	833,24
3	CP 02	35716,39	143,44	84,72	1,69	32,5	53	36,68	14,67	887,24
4	CP 04	37128,57	147,26	93,47	1,58	21	48,4	33,3	13,32	976,31
5	CP 05	58350,5	233,01	210,98	1,1	4,25	41,7	20,5	8,2	1511,39
6	CP 06	59429,25	236,96	211,3	1,12	2,25	40,9	19,78	7,91	1579,71
7	CP 07	61390,61	245,17	223,82	1,1	2,75	41,1	20,23	8,09	1625,41

O ensaio de tração mostrou que os corpos de prova que não passaram por tratamento térmico sofreram grandes mudanças nas propriedades mecânicas, em relação ao material base, como perda na resistência a tração, diminuição do limite de escoamento, aumento na porcentagem do alongamento, aumento do alongamento na carga máxima, aumento no alongamento linear, e diminuição do módulo de elasticidade.

Os que passaram por tratamento térmico obtiveram melhorias das propriedades mecânicas perdidas decorrentes ao processo de soldagem, porém, não atingiram os valores informados pelo fabricante do consumível CasToTig 4043.

Ocorreu o aumento da resistência à tração, aumento do limite de escoamento, diminuiu a porcentagem do alongamento, diminuiu o alongamento na carga máxima, diminuiu no alongamento linear, e aumentou o módulo de elasticidade, em relação aos corpos de prova sem tratamento térmico.

Alguns fatores que podem ter influenciado no resultado são: provável contaminação do gás de proteção, armazenamento do material de adição, vazão do fluxo do gás de proteção inadequado, porosidade de gás.

4.2 – Ensaio metalográfico

O ensaio de tração revelou a presença de inclusão macroscópica, como isso afetou os resultados, foi feito um ensaio metalográfico para determinar qual seria esta inclusão.

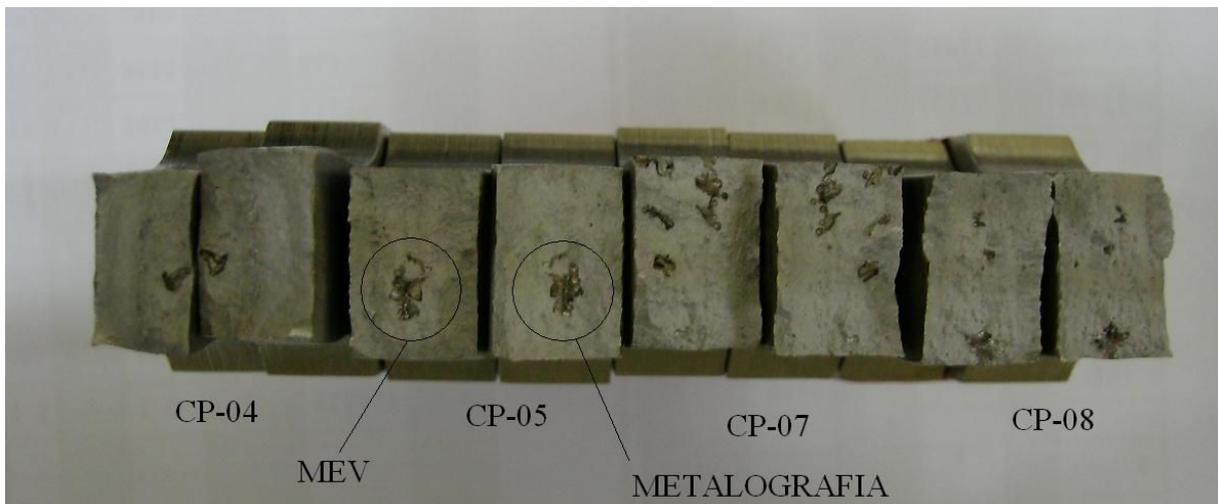


FIGURA 17 – Inclusões macroscópicas na região da solda

Esta inclusão poderia ser tungstênio do eletrodo não consumível da tocha TIG, isto ocorre quando o soldador toca o eletrodo de tungstênio no metal de adição ou na poça de fusão.

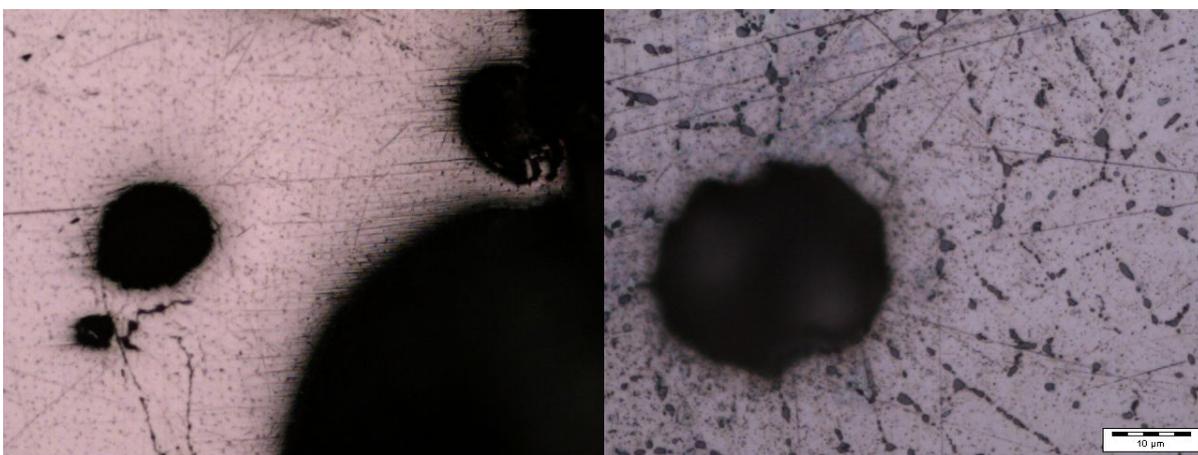


FIGURA 18 – Esquerda: Região da solda, 200X, sem ataque corpo de prova CP 05; Direita: Poro e contornos de grão, 500x, com ataque 10% hidróxido de sódio, corpo de prova CP 05. O ensaio metalográfico mostrou presença de poros resultantes de gás.

4.3 – Ensaio MEV

O MEV, microscópio eletrônico de varredura é capaz de ampliar 300 mil vezes e com isso determinar os elementos presentes no material.

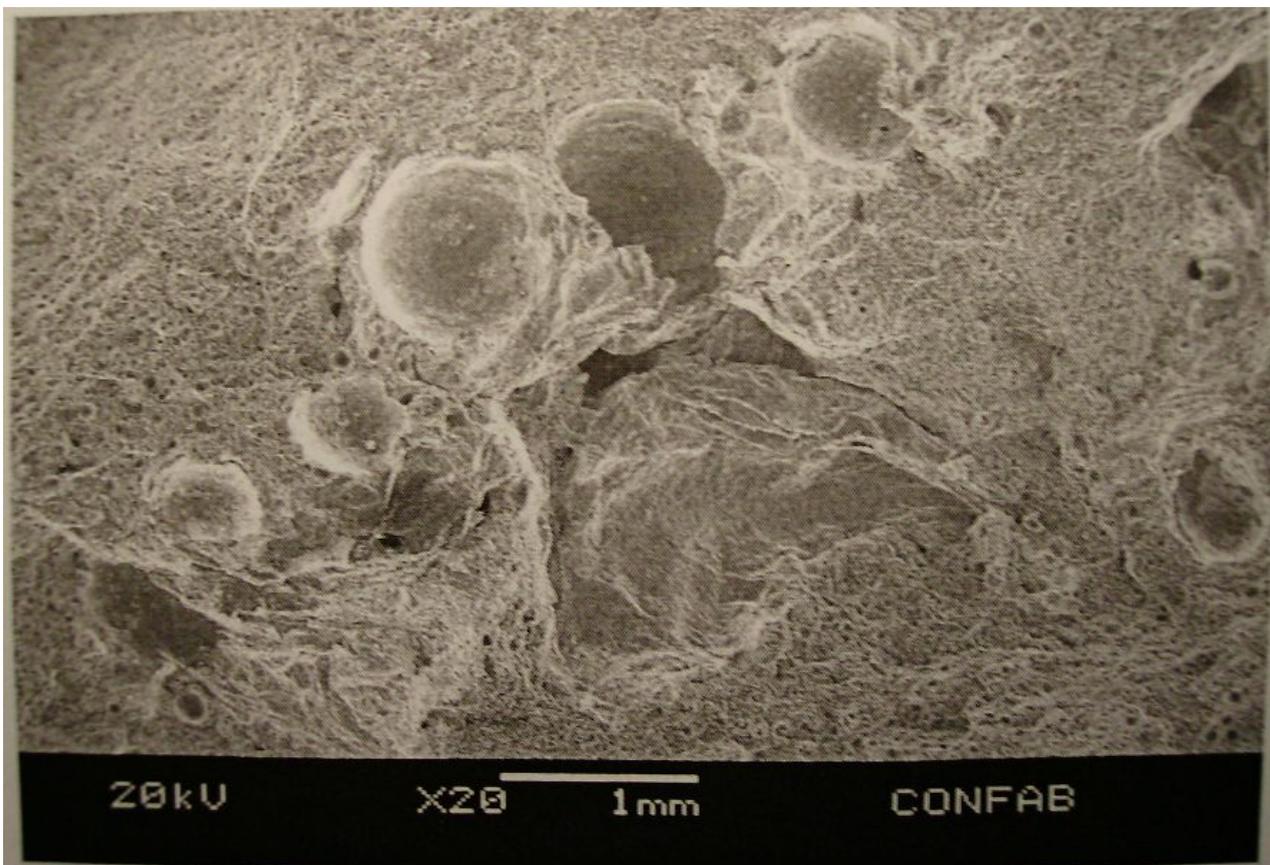


FIGURA 19 – Ensaio MEV do corpo de prova CP 05

O ensaio MEV confirmou a presença de Alumínio, Magnésio e Silício que são os elementos das ligas utilizadas. Também confirmou a presença de Carbono e Oxigênio, que podem resultar no gás que ficou incluído na solda.

5 - CONCLUSÃO

O processo de soldagem afeta diretamente as propriedades mecânicas da região soldada;

O tratamento térmico após a soldagem melhorou consideravelmente as propriedades mecânicas da região soldada;

O processo de soldagem realizado inadequadamente afeta na qualidade da região soldada.

Deve-se considerar que os resultados obtidos neste experimento são para os parâmetros utilizados, sendo necessário realizar outros testes com temperaturas e tempos diferentes, tanto no processo de solubilização quanto no de envelhecimento, para se chegar no parâmetro ideal, lembrando que a geometria e o tamanho da peça também influenciam no resultado.

Realizar testes com outros parâmetros fica como sugestão para um trabalho futuro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ABAL Associação Brasileira do Alumínio - **Coletânea de normas técnicas** - Alumínio e suas ligas -São Paulo: Técnica Comunicação Industrial Ltda, 2008.

ASME- ASME IX 2004 – **Welding and brazing qualifications- 2004 ASME** Boiler & Pressure Vessel Code an internationalCode, The American Society of Mechanical Engineers, New York, 2004.

Wainer, Emilio, 1932- **Soldagem: processos e metalurgia** 2ª Edição São Paulo: Edgard Blucher, 1992.

Eutectic do Brasil Ltda - **Manual de aplicações em manutenção** -1ª Edição Editoração Eletrônica: PPPV Desing, impressão: Ibraphel, coordenação Eutectic do Brasil Ltda, junho 2005.

Houle, M. J. **Practical Guidebook Series** - Volume 2 – ASME Section IX Welding Qualifications, Casti Publishing Inc, Alberta, Canadá,1998.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ALCAN – **Manual de soldagem**, 1º edição, Brasil. 1993.

ABAL, Disponível em: www.abal.com.br – **Tratamento térmico do alumínio** - acesso em;04 de maio de 2010, 12:56 horas.

CASTOLIN EUTECTIC, **Manual de Soldagem de Alumínio e Suas Ligas**, 1ºedição, Brasil, 2005. Disponível em: www.eutectic.com.br - acesso em;18 de junho de 2010, 13:00horas.

CAVSTEEL WELDING, **Soldagem de alumínio**, Arquivo PDF, 2004- Disponível em: www.cavsteel.com.br acesso em;26 de fevereiro de 2009 11:12 horas.

OXIGEM, Disponível em: www.oxigem.com.br Informativo técnico – **Manual soldagem de alumínio** - março 2008 – acesso em;18 de junho de 2010, 11:32horas.

WITE MARTINS, **Soldagem de alumínio e suas ligas**, Arquivo PDF, 2003. Disponível em: www.witemartins.com.br - acesso em: 29 novembro 2009, 12:18 horas.