

INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE SOLDAGEM, NO FORMATO DA POÇA DE FUSÃO, COM RELAÇÃO A FORMAÇÃO DA MACRO E MICROESTRUTURA (*)

Luiz Gimenès Jr. (**), Marcos Antonio Tremonti (**)

RESUMO

Este trabalho é uma revisão bibliográfica da característica da estrutura granular da zona de fusão de solda pelo processo GTAW (Gas Tungsten Arc Welding), e suas implicações de ordem metalúrgica, baseado em capítulo de livro de autoria de Kuo, onde foi utilizado como metal de base uma liga fundida de alumínio com adição de 4,5% de cobre, avaliando-se a influência dos parâmetros de soldagem tais com velocidade e corrente de soldagem no crescimento epitaxial e as implicações na formação do perfil da poça de fusão, tipo gota e outro tipo elíptico, através de constatação macro e microscópica das estruturas.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Classificação e Características do Alumínio e Suas Ligas

O alumínio e suas ligas pertencem a classe das chamadas ligas leves, devido ao seu baixo peso específico, tem em geral, boa resistência mecânica, aliadas as propriedades de resistência a corrosão e condutibilidade elétrica. Seu emprego engloba setores da indústria química, elétrica, bem como os campos de arquitetura, transportes, aeronáutica e armazenagens de diferentes produtos.

Sob o aspecto de obtenção, as ligas de alumínio podem ser classificadas, em ligas fundidas e produtos acabados ou então como ligas termicamente tratáveis ou não, do ponto de vista do seu tratamento térmico.

De acordo com os elementos básicos de sua composição química, as ligas de alumínio são classificadas segundo sete tipos, a saber: alumínio puro; Al - Cu , Al - Mn, Al - Si, Al - Mg, Al - Mg - Si e Al - Zn.

Ligas de alumínio não - tratáveis termicamente são aquelas cujas propriedades mecânicas podem ser obtidas por meio de um encruamento a frio, enquanto que as ligas termicamente tratáveis conseguem as suas propriedades através de uma tempera seguida de um revenido. É necessário esclarecer que o tratamento de tempera não é o

mesmo que leva a obtenção de uma estrutura martensítica, como no caso dos aços; consiste no endurecimento por precipitação, no qual um componente supersaturado em uma solução sólida se precipita, de modo disperso e fixo, em um grão cristalino. As características do material endurecido por precipitação dependerão fundamentalmente dos elementos químicos presentes na liga.

As ligas não - tratáveis incluem o alumínio puro, Al - Mn, Al - Si e Al - Mg, os quais são endurecidos por meio de encruamento, atingindo diferentes temperas, cujos graus são designados pela letra H, ao contrário das ligas recozidas, que são designadas pela letra O. Por outro lado, as ligas de alumínio termicamente tratáveis incluem Al - Cu, Al - Mg - Si, Al - Zn - Mg e outras ligas similares. Estes tipos de ligas ainda agrupados em duas categorias: as endurecidas por envelhecimento natural e as envelhecidas artificialmente. No primeiro grupo encontram-se as ligas que endurecem naturalmente, quando mantidos por dias em temperatura ambiente, após a tratamento de solubilização, como é o caso de ligas Al - Cu. Já o segundo grupo exige um envelhecimento controlado, em ambiente de forno, uma temperatura de 160 a 185 °C, durante um período de 6 a 20 horas, como acontece com as ligas Al - Cu - Mg, Al - Mg - Si e Al - Zn - Mg.

1.2. Propriedades Gerais Das Ligas De Alumínio[4]

Alumínio puro para uso industrial - Série 1000.

O alumínio puro para utilização industrial tem uma pureza compreendida entre 99,0% e 99,9%. Este material é dotado de boa resistência a corrosão térmica e elétrica e excelente flexibilidade. Sua soldabilidade e usinabilidade são bastante satisfatória, apesar de sua baixa resistência mecânica

Liga de Al - Cu - Série 2000.

É uma série típica de ligas tratadas termicamente. Suas propriedades mecânicas são compatíveis as do aço doce graças ao tratamento de endurecimento por precipitação, após a solubilização. Sua resistência a corrosão, entretanto, é inferior a das outras séries.

(*)Trabalho apresentado em julho-94, na disciplina Tecnologia de Soldagem do Curso de Pós-graduação, do Depto de Fabricação da Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP.

(**) Professores do Departamento de Soldagem FATEC-SP, Mestrados do DEP-EPUSP

Sua solubilidade também deixa muito a desejar, razão pela qual esta liga é empregado quase

que exclusivamente em estruturas rebitadas. As especificações 2017 - duraluminio e 2024 -

superduralumínio são bastante conhecidas como materiais empregados em estrutura de aeronaves.

Liga de Al - Mn - Série 3000.

As ligas Al - Mn não são termicamente tratadas, e os diferentes níveis de resistência mecânica mediante encruamento a frio. As vantagens principais desta série repousam na resistência a corrosão, a usinabilidade e a soldabilidade, que são tão boas quanto as do alumínio puro, aliada ainda as suas altas propriedades mecânicas e ao seu bom comportamento ao tempo.

Liga Al - Si - Série 4000.

Esta série também não é tratável termicamente. Devido ao silício, a temperatura de fusão desta liga é mais baixa, o metal possui uma excelente fluidez e dificilmente ocorrem problemas de trincas, razões que tornam estas ligas bastante indicadas como material de enchimento, na Soldagem de fundido e ligas tratadas termicamente.

Liga Al - Mg - Série 5000.

As ligas desta série, às vezes, combinadas com manganês e também não são tratadas termicamente. Uma liga típica desta série é representada pela especificação 5083-O, cujo emprego engloba não somente as estruturas soldadas em geral mas também os tanques de armazenamento de gases liquefeitos.

Liga Al - Mg - Si - Série 6000.

Esta série reúne ligas de alumínio tratáveis termicamente e que apresentam características satisfatórias de usinabilidade, resistência a corrosão e soldabilidade. No entanto, este tipo de liga pode sofrer uma perda de dureza na zona de solda, devido ao insumo de calor. Um exemplo típico desta série é a 6063 largamente empregada em esquadrias de alumínio para construções civis.

Liga Al - Zn - Série 7000.

Esta série também é termicamente tratada e as ligas podem conter magnésio como elemento químico suplementar, ou ainda pequenas percentagens de cobre e cromo. Estas ligas são também conhecidas como ultraduralumínio. Por outro lado, sua resistência a corrosão, bem como sua soldabilidade, deixam a desejar.

Recentemente, ligas de Al - Zn - Mg, que não contêm cobre, tem sido empregadas em estruturas soldadas e apresentam uma boa resistência a

corrosão e soldabilidade satisfatória, quando comparados as demais ligas de série. Ocorrendo uma diminuição da dureza na zona da solda, esta pode ser recuperada através de um envelhecimento natural.

1.3. Características da Soldagem do Alumínio e suas Ligas

Considerações Gerais.

O alumínio e suas ligas apresentam características físicas sensivelmente distintas do aço, e essas diferenças, influem diretamente em sua soldabilidade. As desvantagens do ponto de vista da soldabilidade das ligas de alumínio, são apresentadas a seguir:

A fusão e o aquecimento parcial das ligas de alumínio são difíceis, por sua alta condutibilidade térmica e pelo alto valor de seu calor específico.

O alumínio e suas ligas são facilmente oxidáveis e seu óxido, Al_2O_3 , tem um alto ponto de fusão. Pela formação da camada refratária de óxido, muitas vezes, na soldagem, surge o problema de falta de fusão.

Devido ao alto valor de coeficiente de expansão térmica, podem ocorrer distorções residuais críticas durante a soldagem; Algumas ligas são suscetíveis a formar trincas a quente.

A solubilidade do hidrogênio sofre mudanças drásticas, quando o alumínio passa do estado líquido para o estado sólido, gerando uma espécie de espuma durante a solidificação; alta velocidades de soldagem podem, em consequência, causar porosidade da junta soldada; Devido à baixa densidade do alumínio, o metal em fusão não consegue expulsar os óxidos e inclusões da poça de fusão, o que pode provocar a inclusão desfavorável de materiais estranhos no metal depositado.

Como a temperatura de fusão e a viscosidade do metal fundido são baixas, a zona termicamente afetada também poderá se fundir e prejudicar o metal base.

Na Tabela 1 são mostrados os principais defeitos encontrados na soldagem de alumínio pelo processo TIG, e as medidas corretivas.

Tabela 1 - Principais defeitos encontrados nas Soldas de Alumínio
Causas e Medidas Corretivas [5]

TIPOS DE DEFEITO	CAUSAS	CORREÇÕES
Trincas de cratera	1- Manipulação inadequada da tocha e do metal de adição 2- Liga do metal de adição não adequada	1- Interrompa o arco suavemente, mas continue adicionando metal de adição; - interrompa e restabeleça o arco várias vezes; - Aumente a velocidade de deslocamento do arco antes de interrompê-lo; - Reverta a direção de deslocamento e aumente a velocidade do arco antes de interrompê-lo; - Utilize chapas de prolongamento para término das soldas. 2 - utilize a liga do metal de adição correta.
Trincas longitudinais	1- Especificação incorreta do metal de adição. 2- Folga da junta inadequada 3- Preparação inadequada das bordas da junta 4- Corrente de soldagem baixa	1- Utilize o metal de adição correto (vide tabela 4) (*) 2- Utilize a folga de junta correta (*) 3- Utilize a preparação de bordas correta (*) (*) Revise o procedimento de soldagem para estabelecer os parâmetros de soldagem correto. 4- Aumente a velocidade de soldagem 5 - Aumente o tamanho da solda. 6- Prenda a junta em compressão durante a soldagem
Falta de penetração	1- Corrente de soldagem baixa 2- Folga da junta inadequada 3- Preparação da borda imprópria 4- Comprimento do arco muito longo	1- Utilize a velocidade de deslocamento do arco, a corrente de soldagem, a folga da junta e a preparação da borda adequada, de acordo com a recomendação do procedimento 2-Utilize o comprimento de arco o mais curto possível
Mordedura	1- Manipulação inadequada do metal de adição ou da tocha 2- Corrente de soldagem elevada 3- Velocidade de soldagem baixa	1- Utilize técnica de soldagem correta 2- Reduza a corrente de soldagem 3- Aumente a velocidade de soldagem
Porosidade	1- Arame ou vareta de adição com sujeiras. 2- Lâminas, chapas ou perfis com sujeiras. 3- Comprimento do arco inadequado. 4- Técnica de soldagem incorreta	1- Utilize arames e varetas Limpas, sem resíduos de óleo ou graxa. 2- Utilize metal base limpo. 3- Regule a tensão 4- Utilize a técnica de soldagem correta.
Falta de fusão	1- Corrente de soldagem inadequada 2- Comprimento de arco muito longo 3- Folga de junta imprópria 4- metal base sujo ou com camada de óxido muito espessa	1- Revise o procedimento de soldagem para estabelecer os parâmetros de soldagem corretos 2- Limpe o metal base.

1.3.1 Trincas em Juntas Soldadas.

As trincas que ocorrem nas ligas de alumínio, são em sua maioria, trincas a quente, que são causadas pelas segregações durante o processo de solidificação.

As trincas devidas a soldagem das ligas de alumínio são classificadas em trincas de solidificação e trincas de fase líquida. As primeiras são causadas pela contração volumétrica do material, que ocorre durante a solidificação, e são divididas em trincas longitudinais no cordão, trincas transversais no cordão e trincas de cratera. As trincas de fase líquida são causadas pela precipitação de compostos com baixo ponto de fusão, como os formados por magnésio e silício, cobre, zinco, etc. e são divididas em trincas na ZTA e microtrincas.

As causas das trincas de solda são várias, destacando-se, entre elas, a seleção inadequada do material de enchimento, condições e parâmetros de soldagem insatisfatórios, temperatura entre passes mal controlada, junta excessivamente restrita, manuseio inadequado do eletrodo, enchimento insuficiente da cratera e a imperícia do soldador.

Quanto às principais causas de cada tipo de trinca, podem-se apontar: a combinação adequada do material de enchimento e do material base como fonte das trincas longitudinais no cordão, como acontece com as ligas de Al - Mg - Si (série 6000), quando soldadas com arames de igual composição; uma vinculação longitudinal excessiva da junta, causando trincas transversais no cordão; presença de cobre no metal depositado, causando igualmente trincas transversais.

Já as microfissuras são trincas que ocorrem na zona termicamente afetada, e são minúsculas demais para serem detectadas visualmente ou mesmo através de

exame radiográfico. Estas fissuras são causadas por altas temperaturas entre passes ou por um insumo de calor exagerado em juntas executadas por múltiplos passes.

1.3.2 Porosidade em Juntas Soldadas.

A porosidade na soldagem das ligas de alumínio são devidas, principalmente, ao hidrogênio dissolvido na poça de fusão e suas principais causas são as seguintes:

Materiais estranhos, como fluidos, gorduras etc. presentes no metal base ou no material de enchimento, bem como certos hidratos que coexistem com o filme de óxidos na superfície dos referidos materiais; Impurezas gasosas e hidrogênio presentes no gás de proteção; Umidade do ar, que é absorvida pelo gás de proteção.

O hidrogênio captado pelo metal em fusão de uma das fontes descritas anteriormente transforma-se em gás hidrogênio, devido à diminuição da solubilidade durante o resfriamento da poça de fusão. Como a velocidade de resfriamento é alta a densidade do alumínio é baixa, o hidrogênio formado não consegue escapar para a atmosfera e fica retido na estrutura solidificada, sob a forma de porosidades, conforme está esquematizado na Figura 1.

Como a velocidade de solidificação depende da espessura do material e do processo de soldagem, é muito difícil exercer um controle efetivo na velocidade de resfriamento. Dessa maneira o meio mais eficiente de evitar a porosidade na soldagem do alumínio e suas ligas será controlar as fontes provocadoras de hidrogênio, conforme foi apresentado anteriormente.

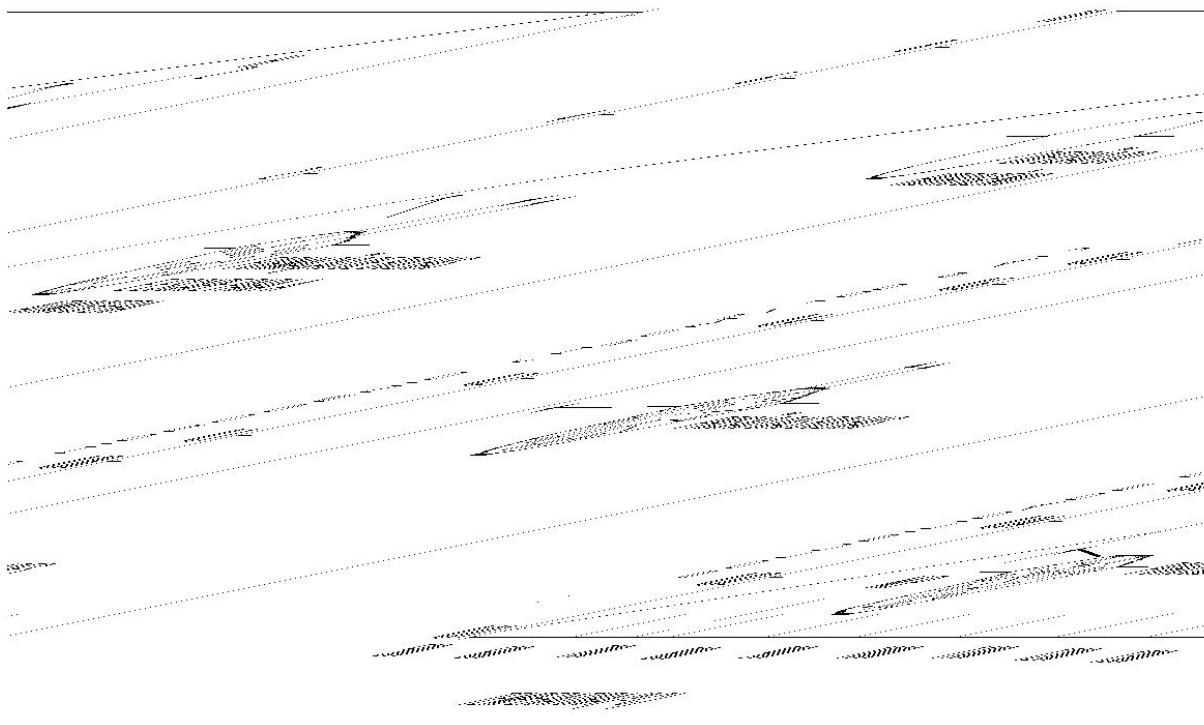


Figura 1 - Mecanismo de Geração de Porosidade no Alumínio

1.4. Característica do Processo TIG

A soldagem TIG não requer fundente, sendo esse o maior avanço quando esse processo suplantou a soldagem oxi-combustível, brasagem e soldagem com eletrodo revestido; produzindo juntas com excelente resistência a corrosão, resistência e boa aparência, o eletrodo de tungstênio fornece um arco que aquece o metal base afim de formar uma poça de solda e, então o metal de adição pode ser adicionado ou não, conforme a necessidade.

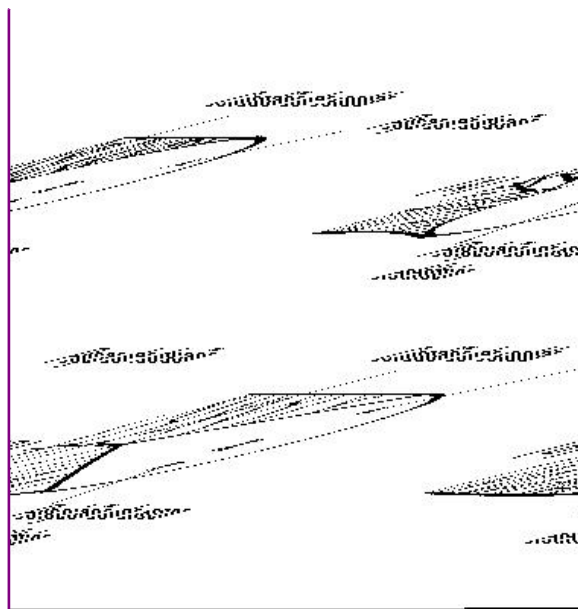
As densidades de corrente são muito menores do que para a soldagem MIG e a eficiência do arco é mais baixa, entretanto, o processo consegue produzir soldas perfeitas e limpas, com um bom controle sobre o perfil e altura do reforço do cordão.

O processo é às vezes automatizado, podendo utilizar ou não metal de adição. A Soldagem TIG é indicada para espessuras de metal menores que 9,5mm de espessura, mas pode ser usado para espessuras maiores se necessário.

1.5. Geometria Da Poça De Fusão

A poça de fusão pode ter duas geométricas: formato elíptico ou de gota, como indicada na Figura 2.

Essa geometria é determinada pela velocidade de soldagem e pelo balanço térmico entre energia de soldagem e as condições de transferência de calor no metal de base. O formato elíptico é determinado quando a velocidade de solidificação é igual a de soldagem, enquanto que o formato de gota ocorre quando a velocidade é menor que a de soldagem.



(A) Elíptico (B) De gota

Figura 2 - Formato da poça de fusão. [1]

A velocidade de solidificação é proporcional ao gradiente térmico. A Figura 3 mostra o gradiente térmico máximo decomposto nas componentes x e y . Analisando essas componentes para os dois tipos de formato de poça de fusão, percebe-se a predominância do gradiente em x , para a poça de

fusão no formato de gota e em y para o formato elíptico. No primeiro caso, o crescimento ocorre preferencialmente na direção x , gerando uma estrutura mostrada na Figura 2(b). No segundo caso, a componente em y é um pouco maior, ocasionando o crescimento mostrado na Figura 2(a).

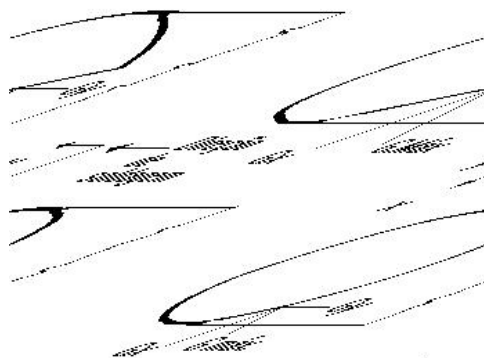


Figura 3 - Gradientes térmicos da poça de fusão em função do formato da poça [1]

Em aproximação bastante simplificada, o gradiente térmico da poça de fusão pode ser expresso pela diferença entre a temperatura média do arco nessa poça e a temperatura liquidus do material, dividida pela distância do centro do arco elétrico até a interface sólido/líquido. A poça de fusão no formato

de gota possui no centro do cordão um gradiente menor que nas bordas.

A Figura 4 esquematiza esse efeito e por ela percebe-se que o super-resfriamento constitucional é sempre máximo no centro do cordão de solda.

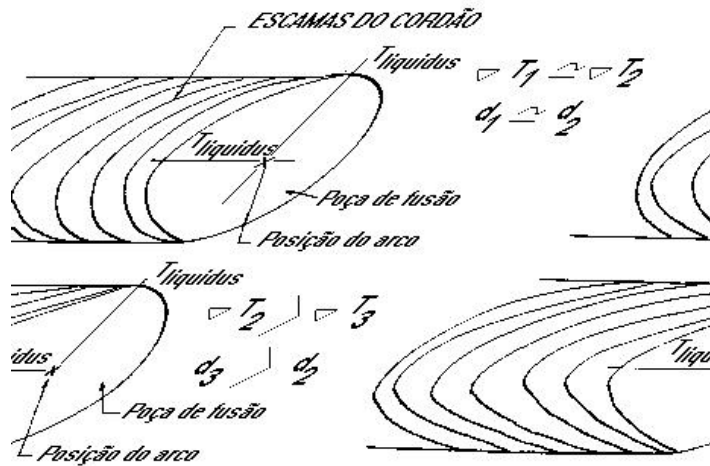
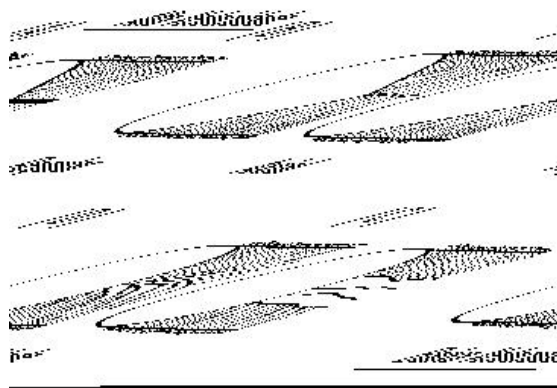


Figura 4 - Gradiente térmico na poça de fusão para os dois formatos que a poça pode apresentar. [1]

1.5. Efeito dos Parâmetros de Soldagem na estrutura dos grãos

Como já foi mostrado, altas velocidades de soldagem, provocam uma tendência em alongar a poça de fusão, de outra maneira, com baixas velocidades de soldagem tendem a uma formação elíptica.

Na poça de fusão tipo gota o formato é essencialmente uma linha reta, os grãos também possuem uma tendência ao crescimento perpendicular à borda da poça, evidenciando uma linha de segregação central, como mostra a Figura 5 (a).



(A,B) Estrutura de grãos colunares regulares
(C,D) Estrutura de grãos colunares axiais

Figura 5 - Macroestrutura da solda de grãos colunares feitos com poça elíptica e em gota.[2]

Ainda na poça tipo gota, o crescimento dos grãos também são curvados com o intuito de crescer perpendicular a face da poça de fusão, como mostrado na Figura 5 (b), portanto para metais de solda livres de núcleos heterogêneos, pode-se esperar que em altas velocidades de soldagem, os grãos colunares irão crescer na direção da linha de

centro da solda e, com baixas velocidades de soldagem, estes irão se curvar e crescerão na direção do gradiente máximo de temperatura, devendo ser sua forma pontiaguda [2].

Para outro tipo de grãos colunares, os axiais, podem também existir na zona de fusão.

A maioria destes grãos colunares iniciam no cordão de solda original e continuam ao longo do comprimento da solda, bloqueando-se o crescimento do grão colunar a partir da linha de fusão, desde que as condições de soldagem sejam iguais, os outros tipos de grãos colunares tem crescimento perpendicular a face da poça de fusão, e a banda destes grãos axiais é suficientemente larga para soldas elípticas, e é de preferência estreito com a poça de fusão em forma de gota, como mostrado na Figura 5 (c) e Figura 5 (d).

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1. Fundição e Preparação Do Metal Base

O metal base foi preparado a partir de um lingote na liga de Al-4,5%Cu, e seu processo de fundição foi em forno elétrico com capacidade de potência da ordem de 4.000W tipo poço, com uma capacidade de carga de 3 Kg,

O controle da temperatura do vazamento do alumínio e após a fusão na lingoteira, foi realizado através de pirômetro analógico de contato tipo K, imerso no alumínio fundido. A temperatura de vazamento do alumínio fundido para a lingoteira, foi da ordem de 720°C, correspondendo na escala gráfica do registrador de temperatura, em 30 mV, foram realizados 3 vazamentos nas mesmas condições descritas acima.

O vazamento do metal foi realizado em lingoteira refrigerada a água, por meio de bomba centrífuga, com circulação disponível, 30 l/min. Realizado o vazamento do alumínio na lingoteira verificou-se o

tempo de solidificação dos 3 lingotes obtidos, que foi da ordem de 24 segundos.

A dimensão dos lingotes foi de 170X100X15 mm de espessura. Após a obtenção dos lingotes, devido as características de dissipação térmica elevada das ligas de alumínio, e limitações da fonte de energia, obrigou-se ao rebaixamento da espessura do corpo de prova para 6 mm de espessura, este procedimento foi necessário, para que durante a confecção dos cordões, a dissipação de calor fosse mantida constante.

2.2. Determinação Da Disposição E Tamanho Dos Grãos No Metal Base Fundido

Como parte da preparação do metal base, antes da soldagem, foi necessário uma constatação das características da macroestrutura, que seria encontrada no metal base, para tal, os corpos de prova tiveram sua superfície lixadas, com abrasivo revestido na granulometria 600 em carbureto de silício, e posterior ataque químico com uma solução aquosa de proporções : 15,0 ml HF; 4,5 ml HNO₃; 9,0 ml HCl; 271,5 ml H₂O

Após a reação química, foi constatado uma estrutura refinada de grãos homogêneos em toda a superfície do Metal Base Figura 6, este procedimento permite uma avaliação precisa da estrutura macroscópica do metal base, e tendo por objetivo, definir a melhor área para a execução dos cordões de solda na chapa, a fim de delimitarmos alterações na macroestrutura provocado pelo resfriamento do processo de fundição.

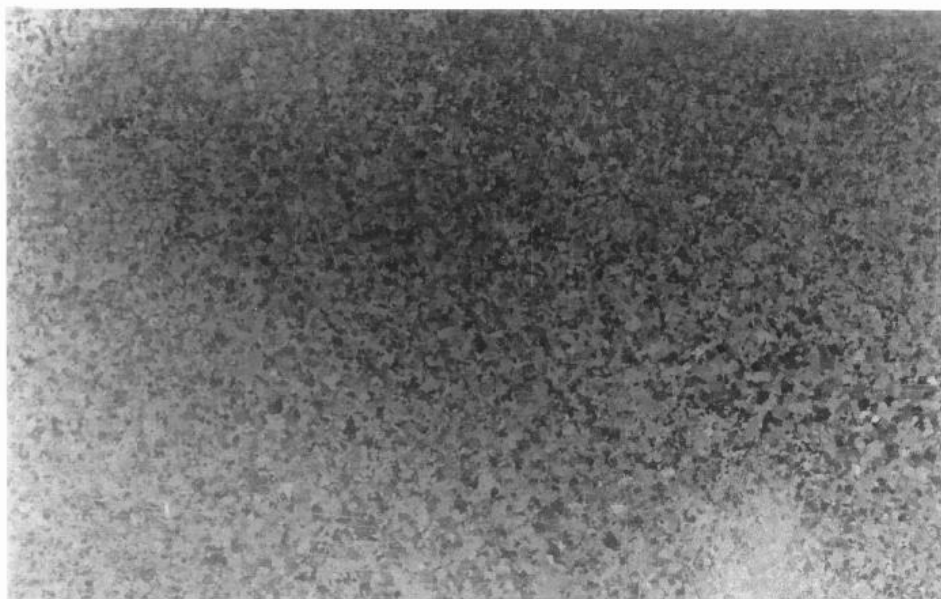


Figura 6 - Macroestrutura do Metal Base

2.3. Confecção dos corpos de prova

2.3.1 Instrumentação para controle de soldagem

As medições das variáveis primárias, como corrente e tensão, de soldagem foram controladas através de alicate Amperométrico digital AC/DC com escala de 0 a 2000 A, precisão de 1,5%. As temperaturas de pré-aquecimento do metal a ser soldado foram controladas por termômetro de contato de haste rígida tipo K com escala de -70 a 1200 °C, precisão de 1,5%.

Outra variável de soldagem, foi a velocidade de soldagem, a qual caracterizou os cordões de solda feitos para este experimento, foram obtidos os tempos de arco aberto, através de cronômetro digital com divisão de 0,01s, e para as medidas de dimensionamento foram utilizados uma escala graduada em aço inox de 200 mm com divisão de 0,1 mm, e paquímetro de 150 mm divisão de 0,02 mm.

Para as medidas de vazão de gás foi utilizado fluxômetro de esfera de 0 a 30 l/min. com divisão de 1 litro.

2.3.2 Equipamentos de Soldagem

Para a execução dos corpos de prova, foram utilizados instrutores especializados no processo manual GTAW, sendo que a variável distância ponta de tungstênio à peça foi mantida constante durante todo o processo, a fonte de energia do tipo corrente constante corroborou para esta manutenção estável.

Característica da fonte de energia:

Transformador-Retificador AC/DC de corrente constante, com 72V de tensão em vazio, 250 A a 30% de Fator de Trabalho, foi acoplado um gerador de alta frequência ao circuito de soldagem.

O modelo da tocha empregada, foi do tipo refrigerada, de 350 A com ciclo de 250A a 60% com Argônio, bocal cerâmico de 11 mm de diâmetro de vazão.

Foi utilizado gás de proteção Argônio pureza S, armazenado em cilindro. O eletrodo de tungstênio foi do tipo EWTh-2 com de 4,0 mm.

Para o pré-aquecimento do Corpo de Prova utilizado para soldagem foi utilizado um conjunto portátil de oxi-acetileno, pois como visto no item 2.a., a alta capacidade de dissipação térmica do alumínio, dificulta a formação da poça de fusão em tamanho

desejado. A limpeza superficial do corpo de prova foi processada com escova manual em aço inox 304. Para o suporte dos corpos de prova foram utilizados tijolos refratários, para minimizar perdas de calor.

2.4 Procedimento De Soldagem

Inicialmente as superfícies a serem soldadas foram pré-aquecidas para compensar a dissipação térmica do alumínio, pois principalmente no cordão de alta velocidade, este procedimento se faz necessário, pois caso contrario ter-se-ia uma zona de fusão muito pequena até um limite de sua extinção.

A limpeza da superfície a ser soldada foi realizada com a próprio arco de soldagem para a soldagem porém com uma menor intensidade de corrente, em rápidos movimentos lineares, promovendo dessa maneira uma limpeza dos óxidos que acabam por dificultar a manutenção da poça de fusão em níveis satisfatórios.

Para a determinação dos formatos de poça de fusão do presente estudo, variou-se o calor imposto da peça em função basicamente da corrente e a velocidade de soldagem.

Cordão De Formato Elíptico

Procurou-se um aporte térmico de maneira que as dimensões do corpo de prova pudesse suportar o calor imposto a peça, para tanto chegou-se a uma corrente de soldagem de 98 a 110 A, velocidade de soldagem 2,06 mm/seg., pré-aquecimento de 270 °C, vazão de gás de 8 l/min.

Cordão De Formato Gota

Procurou-se aumentar a corrente de soldagem e o pré-aquecimento, para compensar o aumento velocidade de soldagem, para tanto chegou-se a uma corrente de soldagem de 186 a 188 A, velocidade de soldagem 17,2 mm/seg., pré-aquecimento de 390 °C, vazão de gás de 10 l/min.

2.5 Metalografia

Localização Dos Corpos De Prova

A Figura 7 mostra como foram retirados os corpos de prova para os ensaios macro e micrográfico, nota-se que ambos foram tirados com localizações semelhantes.

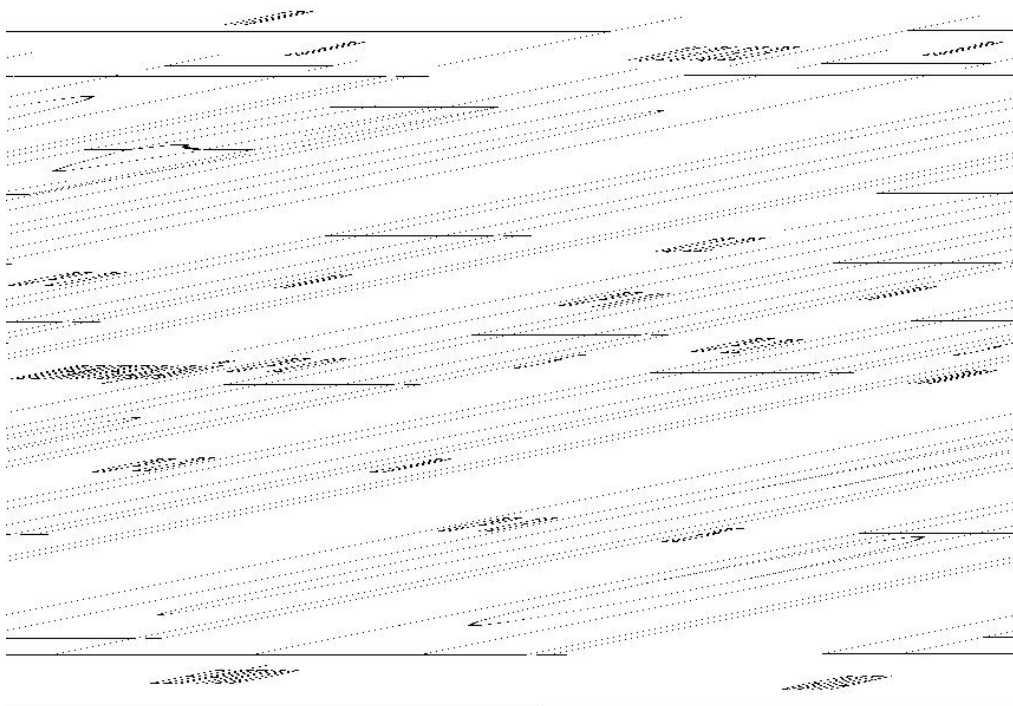


Figura 7 - Localização dos Corpos de Prova

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O formato elíptico, segundo Kou [2], ocorre quando a velocidade de solidificação é igual ou muito próximo a velocidade de soldagem. Já no forma tipo gota, ocorre quando a velocidade de solidificação é menor que a velocidade de soldagem.

Como resultado principalmente deste trabalho foram obtidos cordões com alta velocidade de soldagem, conseqüentemente poça com formato tipo gota e, baixa velocidade de soldagem, obtendo-se poça com formato tipo elíptico.

Um fator relevante que definiu a melhor condição de proteção da poça de fusão durante de soldagem, foi aumentar a vazão de gás para o cordão de solda formato gota, pois o mesmo exigiu maior corrente e velocidade de soldagem.

3.1. Poça Com Formato Elíptico

Procurou-se começar a análise pela macrografia do corpo de prova visto pela superfície, conforme a Figura 8, onde pode-se constatar, que o cordão de solda possui o mesmo tamanho de grão do metal base.

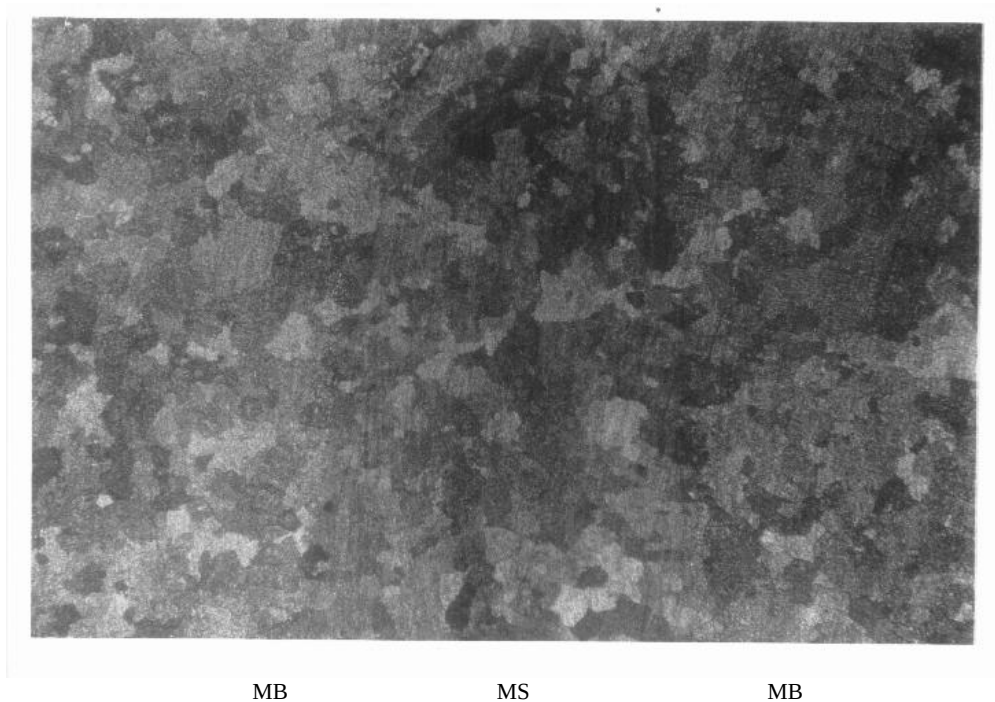


Figura 8 - Macrografia de um cordão de solda com formato elíptico, visto pela superfície. Aumento 10X

Já com um maior aumento desta região, Figura 9, consegue-se definir as regiões Metal Base e Metal

Fundido, porém, na observação não se defini com exatidão grãos colunares no metal fundido



Figura 9 - Microestrutura de um cordão de solda de formato elíptico visto da superfície. Aumento 32 X.

Com um aumento maior da região superficial do cordão observa-se, com grande clareza, uma típica

de microestrutura de grãos colunares equiaxiais, mostrada na Figura 10.

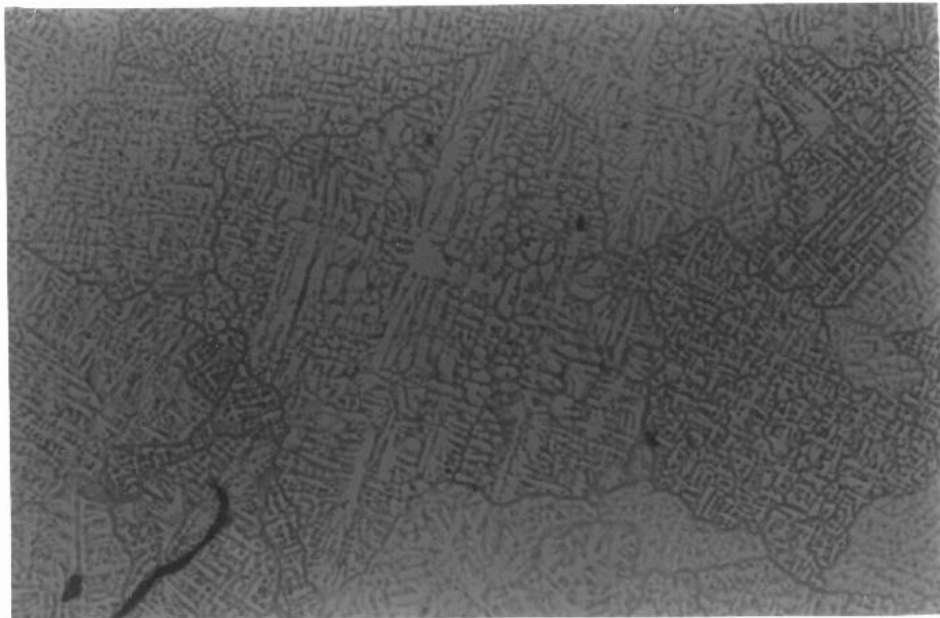


Figura 10 - Microestrutura de cordão de formato elíptico, vista da superfície, grão equiaxiais. Aumento 51 X

Em um corte transversal ao cordão de solda de formato elíptico, pode-se observar nitidamente o crescimento epitaxial, bem no centro da Figura 11, o metal base que está localizado na região inferior, tem uma região dendritica bem mais grosseira que o metal de solda, região superior, que é bem menor. A

explicação para tal fato, é devido à velocidade de solidificação do metal base ser maior quando comparado ao metal de solda, Kou [2] corrobora com esta afirmação.

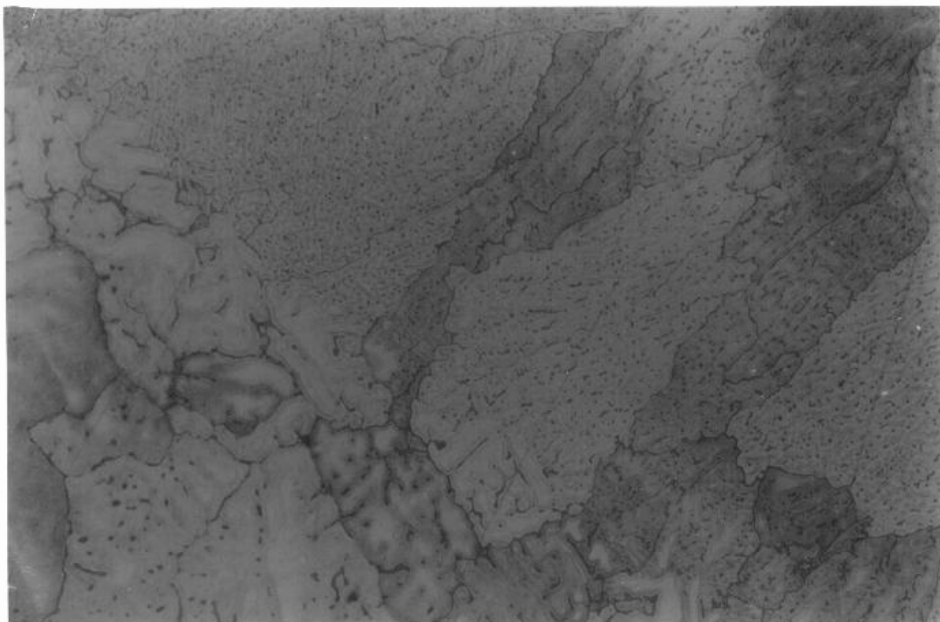


Figura 11 - Micrografia da seção transversal de um cordão de formato elíptico, crescimento epitaxial e regiões com diferentes tamanhos dendríticos. Aumento 100X

3.2. Poça Com Formato Gota

A análise através macrografia do corpo de prova visto pela superfície, conforme a Figura 12, onde pode-se constatar, que o cordão de solda possui grão colunares, que acompanham as isotermas de solidificação, sem uma linha central definida, pois conforme David & Vitek [3], afirmam que para velocidades de soldagem elevadas, estas linhas são

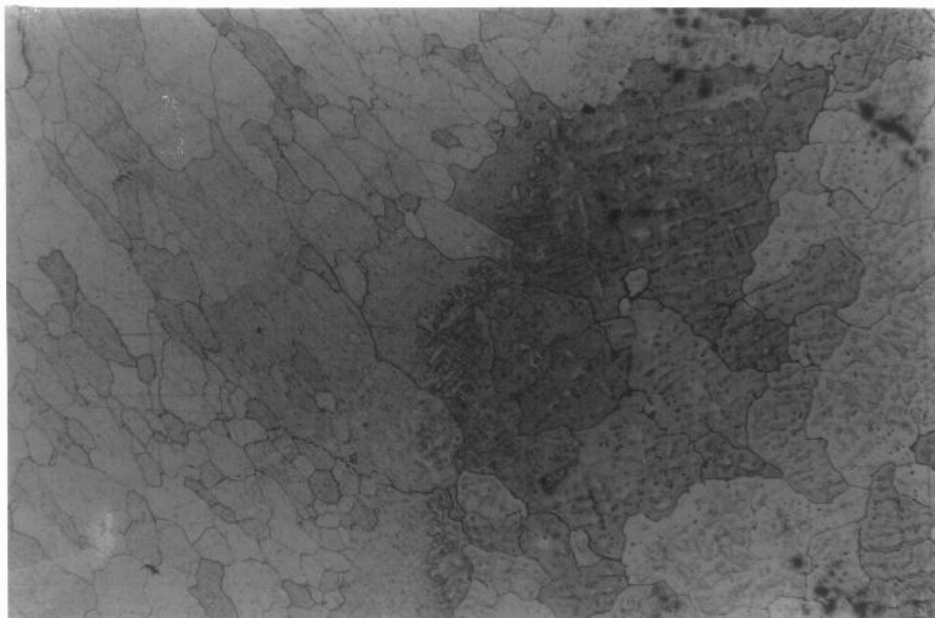
bem definidas, o caso pode ser explicado, pois os corpos de prova utilizados pelos autores serem de espessura muito fina, e dado a extrema condutibilidade térmica do alumínio, esta condição está limitada em função da espessura utilizada neste trabalho, afirma-se então que as velocidades empregadas por outros autores devem ser consideradas como altíssimas.



Figura 12 - Macrografia de um cordão de solda de formato gota visto pela superfície. Aumento 10 X

Em um cordão de formato gota visto pela superfície, observa-se na Figura 13, a linha de fusão com a tendência de crescimento colunar, em alguns grãos

não está evidenciado esta característica, grãos de menor tamanho, provavelmente devido ao posicionamento do corte.



MB

MS

Figura 13 - Microestrutura de uma cordão de formato gota , visto pela superfície, Aumento 32X.

Em uma ampliação maior, Figura 14 pode-se verificar com mais clareza as características descritas acima.

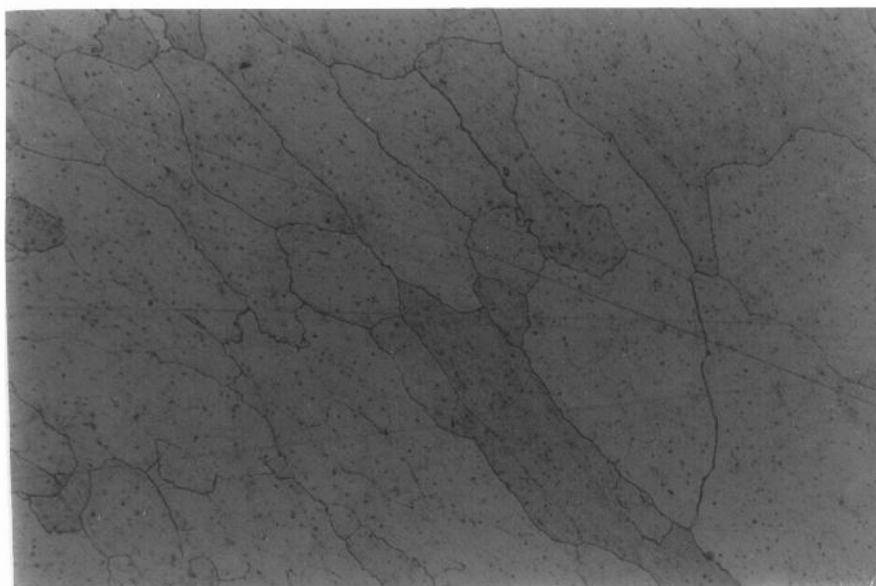


Figura 14 - Micrografia do cordão de solda de formato gota, visto pela superfície, Aumento 156 X

4. CONCLUSÃO

Baseado nestes experimentos pode-se obter as seguintes conclusões em função da velocidade de soldagem, a solidificação de uma chapa de Al-4,5%Cu, com 6 mm de espessura, mesmo com velocidade de soldagem da ordem de 17,2 mm/s, não foi observado linha central de segregação.

Em ambos os casos, com velocidades de soldagem de 17,2 e 2,06 mm/s, a velocidade de solidificação foi bem maior que a do metal base, este pode ser comprovado, pelo menor tamanho dendritico do metal de solda.

Para os formatos gota e elíptico, observa-se com bastante nitidez, a forma de crescimento epitaxial, dos grãos do metal de solda.

5. AGRADECIMENTOS

Colaboraram para a execução deste trabalho: Carlos Barradas e Wander Coser, Instrutores do Depto. de Soldagem da FATEC - SP Wanderley dos Santos, Ex Estagiário do Depto. de Soldagem.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Wainer, E e outros, "Soldagem processos e metalurgia", Edgar Blucher, 1992, pg 383 a 386.
- [2] Kou, Sindo, " Welding Metallurgy", A Wiley-Interscience Publication, 1987, pg 146 a 147.
- [3] David S. A. e Vitek J. M., "Correlation between solidification parameters and weld microstructures; International Materials Reviews", 1989, pg 217, 218, Vol 34 no. 5.
- [4] Taniguchi, C e Okumura T., "Engenharia de Soldagem e aplicações", 1982, pg. 129 a 133.
- [5] Póvoa, A. D., " Soldagem de Alumínio", Associação Brasileira de Soldagem, 1986, pg. 17 a 19 e pg 80 a 82.
- [6] Welding consumables for aluminium alloys, by Ingrid Gronbeck and Helena Larsson, Esab AB, Goteborg Sweden, Svetsaren nº 3, 1995
- [7] "Manual de Soldagem", Alcan Alumínio do Brasil S/A, 1ª Edição, 1993