

## AVALIAÇÃO DA JUNTA SOLDADA NA LIGA DE ALUMÍNIO 5083<sup>1</sup>

Carlos Gustavo De Marco<sup>2</sup>  
Charles Leonardo Israel<sup>3</sup>  
Diego Morello Basso<sup>4</sup>  
Paulo Henrique Sanchez Cardoso<sup>5</sup>

### Resumo

Este trabalho busca investigar as características de soldagem da liga de alumínio 5083 tipo O, utilizando-se de dois diferentes tipos de material de adição, o ER 5183 e o ER 5356. O processo de soldagem utilizado foi o MIG (Metal Inert Gas), sendo que para cada material de adição utilizou-se duas composições diferenciadas de gás de proteção, a saber: Argônio puro e mistura de 70% de Argônio e 30% de Hélio. As técnicas de investigação utilizadas foram inspeção visual, ensaios de dobramento, tração e impacto, bem como medidas de dureza e análise metalográfica. Na comparação das propriedades mecânicas do metal de base com as das peças soldadas, grandes variações foram verificadas. Estas variações foram relacionadas mais com o nível de porosidade nas juntas soldadas do que com o próprio tipo de material de adição. Influência maior foi verificada pela troca do gás de proteção.

**Palavras-chave:** Ligas de alumínio; Processos de soldagem; Resistência mecânica.

### EVALUATION OF THE WELDING ZONE IN A ALUMINUM ALLOY 5083

### Abstract

This paper investigates the welding characteristics of aluminum alloy 5083 type O, using two different types of material addition, ER 5183 and ER 5356. The welding process used was the MIG (Metal Inert Gas), and for each material addition, we used two different compositions of shielding gas, namely pure argon and a mixture of 70% argon and 30% helium. The investigative techniques used were visual inspection, bending, tensile and impact, as well as hardness measurements and metallographic analysis. When comparing the mechanical properties of the base metal with the welded parts, large variations were observed. These variations were more related to the level of porosity in welded joints than the type of filler material. Greater influence was verified by changing the shielding gas.

**Key words:** Aluminum alloys; Welding processes; Mechanical strength.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 68º Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro Mecânico. Analista de Processos. Triel-HT - Industrial e Participações S.A. Erechim, RS, Brasil.

<sup>3</sup> Engenheiro Mecânico. Prof. Dr. Universidade de Passo Fundo – UPF. Passo Fundo, RS, Brasil.

<sup>4</sup> Eng Mecânico. Universidade de Passo Fundo – UPF. Passo Fundo, RS, Brasil.

<sup>5</sup> Engenheiro Mecânico. Prof. Dr. Universidade Federal do Rio Grande – FURG. Rio Grande, RS, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

A substituição do aço por ligas de alumínio vem tornando-se cada vez mais frequente na indústria metal-mecânica. A escolha de uma liga que se adapte às condições de trabalho, muitas vezes é feita sem um estudo mais aprofundado de suas propriedades e condições do processo, levando em consideração, como definidor de sua escolha, o custo do material.

## 2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A soldagem foi realizada pelo processo MIG na união de duas barras da liga de alumínio 5083, têmpera "O" (5083-O), com quatro condições diferentes, utilizando dois tipos de materiais de adição e dois tipos de gases de proteção. O procedimento desenvolveu-se com a configuração de junta de topo com chanfro em X (Figura 1).

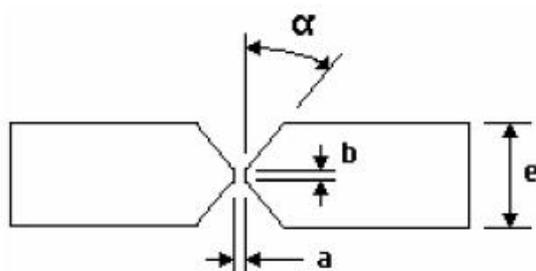


Figura 1 - Junção de topo com chanfro em X.<sup>(1)</sup>

Onde:

$\alpha = 30^\circ$   $b = 2 \text{ mm}$   $a = 2 \text{ mm}$   $e = 13 \text{ mm}$

As condições da soldagem estão apresentadas na

Tabela 1.

Tabela 1 - Condições da soldagem

Material de Adição	Gás de Proteção	Código
ER 5183	100% Argônio	A1
ER 5356	100% Argônio	A2
ER 5183	70% Argônio, 30% Hélio	A3
ER 5356	70% Argônio, 30% Hélio	A4

Os parâmetros de soldagem foram equivalentes para todas as condições:

Voltagem (V): 22 – 24 Amperagem (A): 200 - 240

Após a soldagem, as barras foram fresadas e obtidos corpos de provas de 9 mm de espessura, 28 a 35 mm de largura e 250 mm de comprimento.

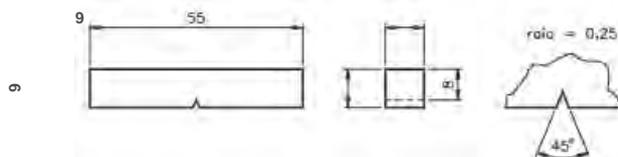
No ensaio de dobramento a disposição da amostra no ensaio é regulamentada pela NBR 06153<sup>(2)</sup> e a avaliação do resultado seguiu conforme a norma ASME IX.<sup>(3)</sup>

Os corpos de prova para o ensaio de tração foram usinados segundo a norma ASTM E 8M.<sup>(4)</sup>

Na inspeção visual avaliou-se a região da ruptura das amostras dos ensaios de dobramento e tração.

Utilizou-se a escala Vickers para o ensaio de dureza, seguindo a norma ASTM E 92-8,<sup>(5)</sup> com a aplicação de uma carga de 5 kgf por um tempo de 15 segundos.

No ensaio de impacto, ensaiaram-se as amostras conforme a norma ASTM E 23,<sup>(6)</sup> no entanto, devido as dimensões reduzidas das amostras, os corpos de prova foram usinados com as dimensões apresentadas na Figura 2.



**Figura 2** - Dimensões dos corpos de prova para o ensaio de impacto.<sup>(7)</sup>

Para análise metalográfica, cada amostra foi preparada seguindo as seguintes condições:

Lixamento com lixa d'água de nº 220, 400, 600, 1000, 1200 e 1500;

Polimento com alumina (1µm);

Ataque químico:

Reagente Tucker (25 ml H<sub>2</sub>O; 45 ml HCl; 15 ml HNO<sub>3</sub>; 15 ml HF);<sup>(8)</sup>

Reagente Keller (2 ml HF (48%); 3 ml HCl (conc.); 5 ml HNO<sub>3</sub> (conc.); 190 ml H<sub>2</sub>O)<sup>(6)</sup>.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Todas as amostras ensaiadas não passaram pelo teste de dobramento, ou seja, as amostras apresentaram trincas na região da solda além do limite aceitável de 3 mm

Os resultados obtidos no ensaio de tração encontram-se nas Tabelas Tabela 2 e

Tabela 3.

**Tabela 2** - Resultados ensaio de tração (a)

Amostra	Tensão Máxima (MPa)	Tensão de Escoamento (MPa)
5083-O	292 SD 3	176 SD 1
A2	182 SD 1	145 SD 15
A3	217 SD 4	151 SD 6
A4	205 SD 3	150 SD 4

**Tabela 3** - Resultados ensaio de tração (b)

Amostra	Tensão de Ruptura (MPa)	Alongamento (%)	Estricção (%)
5083-O	269 SD 4	25 SD 1	37 SD 4
A2	182 SD 1	3 SD 1	17 SD 1
A3	216 SD 3	5 SD 2	8 SD 3
A4	205 SD 5	5 SD 1	10 SD 3

De forma geral, todos os corpos de prova apresentaram significativa diminuição no alongamento percentual e estricção em relação à liga 5083-O. Os demais parâmetros também apresentam redução nos valores.

A condição A2 foi a que apresentou menor tensão máxima, de escoamento e de ruptura, no entanto, na tensão de escoamento mostrou um desvio padrão elevado, dessa forma pode-se igualar a as outras amostras.

Entre as amostras soldadas, a que se aproximou mais das propriedades da liga 5083-O foi a condição A3, seguida pela A4. Destaca-se, ainda, o fato de todas as amostras soldadas exibirem a tensão de ruptura muito próxima à tensão máxima.

A imagem nos corpos de prova de tração na Figura 3 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** revela que o rompimento das amostras ocorreu justamente na interface material base – cordão de solda e indica o baixo alongamento e estricção. Além do mais, é no cordão de solda que se encontra porosidade, defeito esse que age como um concentrador de tensão, facilitando a propagação de trincas.

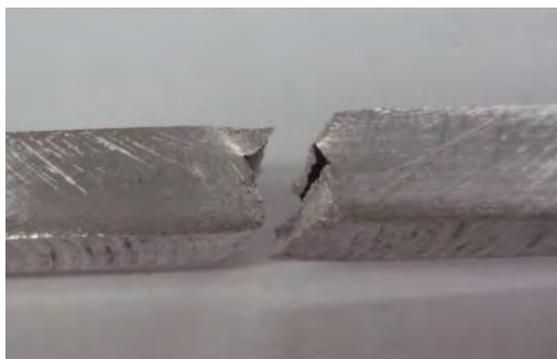


Figura 3 - Corpos de prova após o ensaio de tração.

Na inspeção visual, devido ao fato das peças apresentarem-se na forma usinada, não se observou alterações na superfície do material.

Ao analisar-se a fratura resultante do ensaio de dobramento, observou-se uma elevada porosidade em todas as amostras. As condições A1 (Figura 4) e A2 (Figura 5) apresentaram uma quantidade de poros aproximadamente iguais, variando o tamanho desde poros pequenos até poros de grande diâmetro. Tal defeito pode ser resultado de: resíduos de óleo, graxa, umidade, etc; como essas condições são iguais para todas as amostras, procura-se, então, avaliar os parâmetros distintos entre elas.



Figura 4 - Fratura do ensaio de dobramento para a condição A1.



Figura 5 - Fratura do ensaio de dobramento para a condição A2.

Na condição A3 (Figura 6) também se observou grande quantidades de poros, no entanto, esses poros são pequenos e estão distribuídos uniformemente. A faixa escura também se fez presente na condição A3, porém, com uma espessura menor.



**Figura 6** - Fratura do ensaio de dobramento para a condição A3.

Como a condição A4 não rompeu com o ensaio de dobramento, utilizou-se a imagem da fratura do corpo de prova de tração efeito comparativo dessa superfície, apresentada na Figura 7, onde se verifica poucos poros, porém de maior tamanho.



**Figura 7** - Fratura do ensaio de tração para a condição A4.

A Tabela 4 mostra os valores médios de dureza Vickers para a liga 5083-O e as quatro amostras. Nota-se que não há variação significativa no perfil médio de dureza no cordão de solda.

**Tabela 4** - Valores médios de dureza Vickers

Amostra	Dureza Vickers (HV)
5083-O	89 SD 1
A1	87 SD 2
A2	89 SD 2
A3	91 SD 5
A4	87 SD 3

A Tabela 5 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta os valores da energia absorvida obtidos com o ensaio de impacto Charpy. Observa-se na tabela que o material de liga 5083-O apresentou uma absorção mais alta que os demais. Dentre os ensaios realizados, este foi o que mais apresentou maior variação entre as amostras soldadas e o material base, chegando a diferença de a energia absorvida ser praticamente quatro vezes se comparar a liga 5083-O com a condição A1.

**Tabela 5** - Valores médios da energia absorvida no ensaio de impacto

Amostra	Energia Absorvida (Joule)
5083-O	48 SD 3
A1	12 SD 3

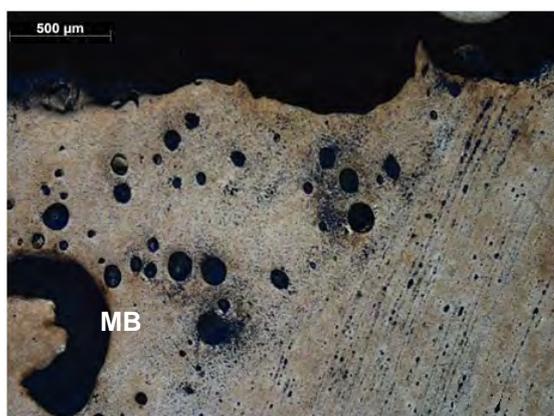
A2	13 SD 1
A3	20 SD 4
A4	15 SD 3

A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** mostra a interface entre o material base (MB) - lado esquerdo - e o material de adição (MA) - lado direito – da soldagem em A1. Observa-se a concentração de poros nessa interface, desde poros pequenos até um tamanho de aproximadamente 0,1 mm.



**Figura 8** - Cordão de solda da condição A1, ampliação de 50X, reagente Tucker.

A Figura 9 ilustra a interface da solda para a amostra A2, a quantidade de poros é maior em relação a A1. Verifica-se, também, um defeito de maior grandeza, aparentando-se ser uma trinca.



**Figura 9** - Cordão de solda da condição A2, ampliação de 50X, reagente Tucker.

A análise metalográfica da condição A3 (Figura 10) mostra a região de encontro dos passes de solda. Nessa configuração de soldagem a quantidade de poros teve considerável redução no cordão de solda, tendo alguma concentração na linha de fusão.



**Figura 10** - Cordão de solda da condição A3, ampliação de 50X, reagente Tucker.

A amostra A4 traduz o comportamento do material de adição na solda, visualizado na Figura 11 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, do qual apresenta uma porosidade uniformemente distribuída.



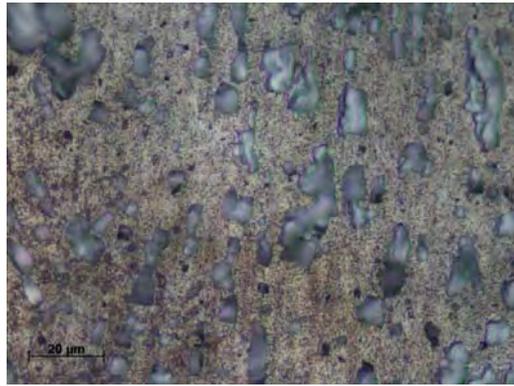
**Figura 11** - Cordão de solda da condição A4, ampliação de 50X, reagente Keller.

A região da “faixa escura”, observada na fratura dos corpos de prova nos ensaios, é apresentada, na Figura 12 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, por uma vista lateral na direção do comprimento do cordão de solda.



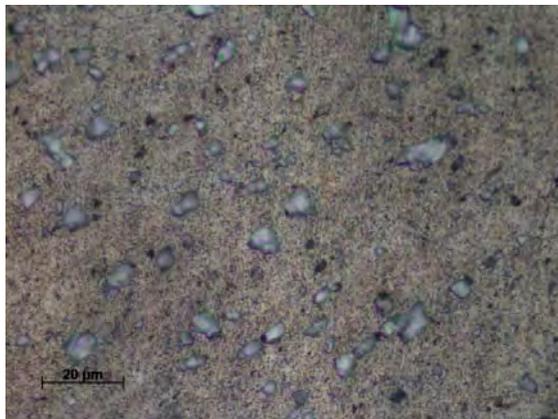
**Figura 12** - Vista lateral da “faixa escura” na condição A1, ampliação de 50X, reagente Tucker.

A Figura 13 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** mostra a mesma região da faixa escura para uma ampliação de 1000X. As regiões cinza são partículas de insolúveis  $(Fe,Mn)_3SiAl_{12}$  e as áreas mais escuras podem ser partículas insolúveis de  $Mg_2Si$  <sup>(6)</sup>.



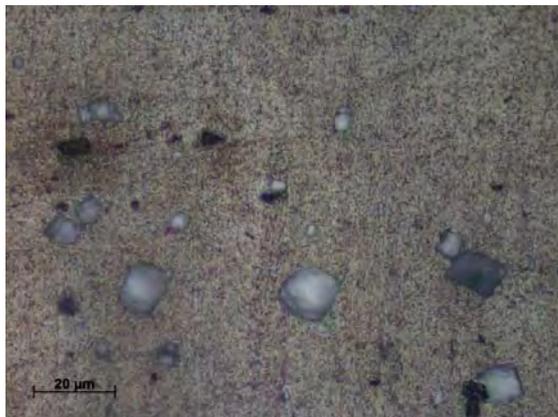
**Figura 13** - Vista lateral da "faixa escura" na condição A1, ampliação 1000X, reagente Tucker.

Para ter uma referência de comparação, a Figura 14 mostra a microestrutura do material de adição da amostra A1. Comparando com a Figura 13 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, nota-se que a quantidade de partículas insolúveis é menor no material de adição.



**Figura 14** - Microestrutura do cordão de solda da condição A1, ampliação de 1000X, reagente Tucker.

Essa diferença é mais significativa se comparar com a microestrutura do material base, apresentado na Figura 15.



**Figura 15** - Microestrutura do material base, ampliação de 1000X, reagente Tucker.

A diferença verificada nessas imagens contata que a presença da uma faixa escura no meio e na direção do cordão de solda é resultante do acúmulo de partículas diferentes do material base. Essa concentração dessas partículas tem

como uma das origens a taxa de resfriamento no local. A região onde há o encontro dos cordões de solda foi afetada pela temperatura do processo durante os dois passes, indicando uma maior alteração das características da microestrutura do material nessa região.

#### **4 CONCLUSÃO**

O problema principal verificado foi o aparecimento de porosidade no cordão de solda em todos os casos avaliados. As amostras soldadas apenas com argônio como gás de proteção apresentaram porosidade grosseira, o que para uma mesma quantidade de poros, tem maior influência nas propriedades mecânicas.

A alteração na composição do gás de proteção provocou uma melhor distribuição dos poros no cordão de solda, proporcionando assim, propriedades mecânicas mais elevadas, porém, ainda abaixo das do material base.

A substituição do material de adição teve menor influência nos ensaios se comparar com a substituição do gás de proteção. Verificou-se, para esse caso, uma leve vantagem para o material de adição ER 5183, que proporcionou maiores valores nas tensões de ruptura e máxima e na energia absorvida no impacto. Contrapondo-se a isso, a análise metalográfica revelou certa concentração de poros na interface material base- material de adição nas amostras soldadas com o eletrodo ER 5183; já as amostras soldadas com o eletrodo ER 5356 apresentaram uma porosidade mais distribuída pelo cordão de solda.

Para ambos os parâmetros utilizados, os resultados do ensaio de dureza foram os únicos que não sofreram variação nos valores do material base para o cordão de solda.

A análise metalográfica revelou a alteração da microestrutura do material de adição pelas condições de temperaturas resultantes do processo de soldagem, sendo que na interface dos cordões de solda o material teve maior alteração.

Por fim, para a obtenção de uma qualidade maior na soldagem em ligas de alumínio, deve-se ter um controle maior nos demais parâmetros não avaliados neste trabalho como a velocidade de soldagem, umidade do ar, manuseio do eletrodo, preparação da superfície, qualidade dos materiais etc.

#### **REFERÊNCIAS**

- 1 TREIBER, Marcos Xixa. et al. Tipos de Chanfros para juntas Soldadas. Disponível em: [www.infosolda.com.br/nucleo/downloads/ep.pdf](http://www.infosolda.com.br/nucleo/downloads/ep.pdf). Acesso em: 31 de maio. 2012.
- 2 ABNT NBR 6153:1988. Produtos metálicos - Ensaio de dobramento semi-guiado. 1988.
- 3 ASME IX. Welding and Brazing Qualifications.2007.
- 4 ASTM E 8M-00b - Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials.West Conshohocken, United States: ASTM, 2008.
- 5 ASTM E 92-82 - Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials.West Conshohocken, United States: ASTM, 2003.
- 6 ASM HANDBOOK: Metallography and Microstructures, Vol 9, ASM Handbook, ASM International, 2004.
- 7 ASTM E 23-06 - Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials.West Conshohocken, United States: ASTM 2007.
- 8 TELECURSO 2000. Ensaio de Impacto. Aula 16.