

# BRASAGEM: MELHORIA DAS PROPRIEDADES DO METAL DE ADIÇÃO COM UTILIZAÇÃO DE FÓSFORO NA LIGA EUTÉTICA 4047

Jânio Tadeu de Paula <sup>(1)</sup>  
Silvana Ratto <sup>(2)</sup>

## RESUMO

Este artigo originou-se a partir de problemas ocorridos na fabricação da liga de alumínio silício 4047 com teor de silício de 11,0 a 13%, com finalidade de fabricar anel como metal de adição utilizado no processo de brasagem de trocadores de calor automotivo. Durante o processo de nacionalização desses anéis, algumas peças os anéis não fundiam completamente na junta, enquanto anéis importados feitos na mesma liga a fusão era completa. Essa fusão incompleta gerava reclamação do cliente e a possibilidade de vazamento do trocador de calor devido a falta de metal líquido suficiente para o preenchimento da junta. As análises realizadas no lote de anéis, mostram presença de silício primário muito grosseiro e uma variação do teor de silício fora do especificado no mesmo lote de anéis. Essa variação aumentava o ponto de fusão do anel no processo de brasagem. A fim de melhorar a homogeneização do silício no forno de fusão e diminuir o tamanho do silício primário foi acrescentado pastilhas com teor de fósforo de 4 a 9%. Concluímos neste artigo que quando foi acrescentado uma certa quantidade de fósforo diminuiu a variação do teor de silício e refino do mesmo em todo o metal vazado. Nos resultados são apresentados a composição química do silício, por Espectrofotometria de Absorção Atômica; análise micrográfica; e avaliação visual da fusão dos anéis na junta brasada do trocador de calor.

**Palavras-Chave:** Alumínio, Brasagem, Fósforo

V SEMINÁRIO DE FUNDIÇÃO  
17 a 19 de maio de 2004 – Salvador – BA - Brasil

(1 )Tec, Eng, MSc – Responsável Laboratório de Materiais  
Denso do Brasil  
Rua João Chede, 891 CEP 81170-220, Curitiba, Pr, Brasil,  
TADEU\_PAULA@denso-diam.com

(2 )Eng, Diretora Técnica  
Oxigen Sociedade de Produtos Especiais para Industria Ltda  
Estrada Sem Nome, 650 CEP 09852-070, São Bernardo do Campo, SP, Brasil  
ratto@oxiaem.com.br

## 1 - INTRODUÇÃO

No processo de brasagem de trocadores de calor de alumínio, onde a junta não tem material solidário de clad, geralmente é utilizado anel de brasagem como material de adição com alto teor de silício na faixa de 11,0 a 13,0%. Os anéis são inseridos na junta para servir de metal de enchimento. Para obter um processo confiável é necessário o derretimento total do mesmo. Onde a junta é preenchida com o material de adição derretido do anel. Por fenômenos de capilaridade, molhamento, espalhamento [Ramalho.J,2001] e difusão é feita a união entre as partes a serem brasadas.

A brasagem dos componentes de alumínio, principalmente de trocadores de calor é amplamente utilizada na indústria metal mecânica. Suas principais vantagens são; A possibilidade de unir dois metais com ponto de fusão muito diferente; baixo custo; possibilidade de união de centenas ou até milhares de pontos; possibilidade de unir pontos inacessíveis por qualquer outra técnica de união [Manual de Soldagem, ALCAN, 1993]. O processo consiste na utilização de um metal de adição com ponto de fusão inferior ao menor ponto de fusão dos elementos da junta. Durante o processo de brasagem apenas o metal de adição funde-se e reage quimicamente com as superfícies dos metais base formando uma união [PAULA,J.T;BORGES,P.C., 2002]. Para que a união seja perfeita é necessário ter uma quantidade mínima de líquido fundido do metal de adição e que o mesmo umecte as superfícies dos metais de base e seja conduzido por capilaridade para os vazios existentes [soldagem, 1985].

Na brasagem de trocadores de calor em alumínio normalmente utilizam-se ligas de adição à base de alumínio silício com composição química eutética ou próxima dela, desta forma a temperatura de fusão ocorrerá abaixo da temperatura de fusão das ligas dos metais base a serem unidos. Esses metais de enchimento estão geralmente em forma de vareta, arame, anéis ou CLAD (chapa de com recobrimento de metal de adição de um ou dos dois lados). [PAULA,J.T;2003]

Esse trabalho originou-se a partir de problemas ocorridos durante a nacionalização do anel utilizado como metal de adição no processo de brasagem de trocador de calor de alumínio. Esses anéis de brasagem foram confeccionados na liga A4047 com teor de silício especificado na faixa de 11,0 a 13,0%. Algumas peças os anéis não fundiam completamente na junta, enquanto anéis importados feitos na mesma liga a fusão era completa. Essa fusão incompleta gerava reclamação no cliente e a possibilidade de vazamento do trocador de calor devido a falta de metal líquido suficiente para o preenchimento da junta.

As principais hipóteses levantadas para o problema apresentado foram:

- 1- Anel fornecido com a composição química do silício abaixo ou acima do especificado e como consequência aumento da temperatura do ponto de fusão.
- 2 - Falta de homogeneização da composição química no forno de fusão utilizado para fabricação do arame dos anéis (matéria-prima), pois alguns anéis apresentava boa fusão e outros não, isso no mesmo lote fornecido.
- 3 - Silício primário muito grosseiro na liga do anel, dificultando fluidez do metal líquido e a capilaridade necessária para união da junta brasada.

## 2 - MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1- Materiais

#### 2.1.1- Forno de Fusão e Processo Utilizado para Fabricar a Liga do Anel de Brasagem.

A liga 4047 do anel de brasagem foi fundida em um forno de indução modelo Indufor DB4040, com capacidade de 480kg. O vazamento é feito em lingoteiras de aço de diâmetro 127mm e comprimento 600mm. Cada vazamento gera 11 tarugos de peso aproximado de 16kg. É preservado no fundo do forno cerca de 220kg. Foram realizados 04 experimentos primeiro sem adição da pastilhas de fósforo na liga no forno de fusão o segundo foi adicionado 0,1%, terceiro 0,2% e o quarto 0,3%. Todas as outras variáveis tais como: tempo de fundição, temperatura de fusão, temperatura de vazamento, tempo de homogeneização, ciclo de resfriamento foram mantidos constantes.. O fósforo adicionado foi em forma de pastilhas marca Degamil, tendo a composição química mostrada a seguir e cada pastilha pesa 100 gr.

Composição química das pastilhas:

Cloretos:	32% mínimo
Nitratos:	15 ~ 25%
Sulfato:	3 ~ 6 %
Fluoretos:	0,5 ~ 1,0%
Na:	8 ~ 13%
P:	4 ~ 9%

#### 2.1.2- Anel de Brasagem

O anel de brasagem é estampado a partir do arame e tem as dimensões, mostradas na figura 1 e composição química do silício apresentada na tabela I:

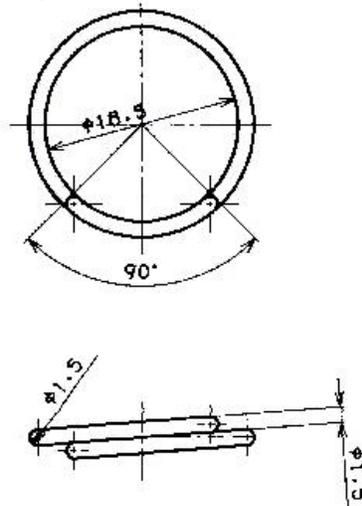


Figura 1 – Formato e dimensões em mm do anel de brasagem.

Tabela I – Composição química do Silício

Elemento	Si %
Especificação	11 ~ 13

### 2.1.3- Trocador de Calor e Montagem do Anel

O anel é montado no trocador de calor conforme indicado na seta da figura 2 a seguir.

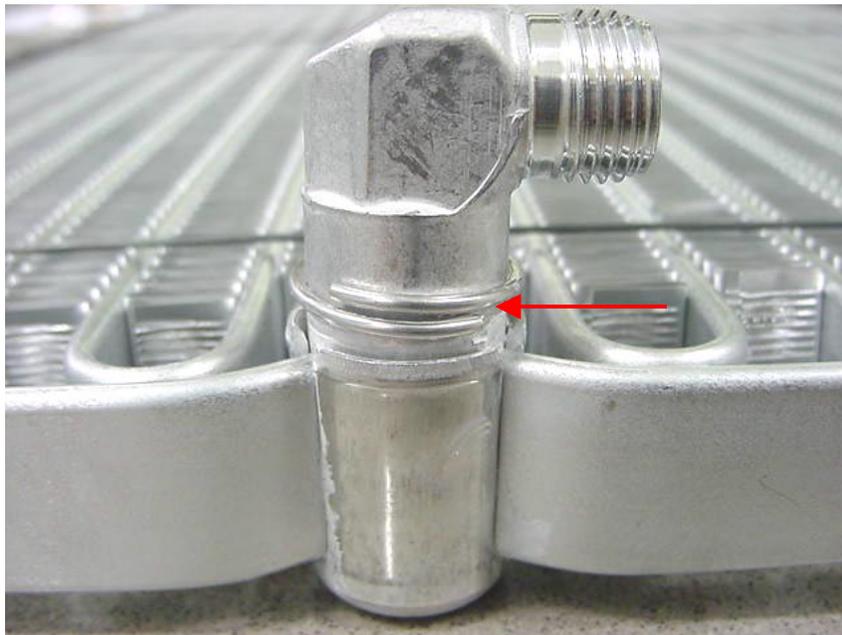


Figura 2 – A seta mostra o anel inserido na junta, antes da brasagem

## 2.2- Metodologia

### 2.2.1- Análise Química:

A análise química foi feita pela técnica de Espectrofotometria de Absorção Atômica em um equipamento da marca Shimadzu modelo AA-6401F, e os resultados foram comparados com os valores especificados de silício para liga 4047 da tabela I. Foram feitas análise química em todos os lingotes de cada fornada, foi produzida 04 fornada totalizando 44 lingotes.

## 2.2. 2 Metalografia

Com o objetivo de se determinar a distribuição do silício e o tamanho do silício. Foi feita análise metalográfica nos 44 lingotes, sendo 11 de cada fornada.

Preparou-se as amostras através de: corte em disco adiantado, lixamento, polimento em pasta de diamante e sílica coloidal. As amostras foram observadas em um microscópio metalográfico OLYMPUS modelo PMG com ataque químico, o reagente utilizado foi uma solução de Acido Fluorídrico a 0,5%. Foi feita análise metalográfica também na junta do tocador de calor após ciclo de brasagem com anéis sem uso de fósforo e com anéis com 0,3% de fósforo a fim de avaliar o filete de brasagem.

## 2.3 3 – Processo de Brasagem

O tocador de calor foi brasado em forno Noclolock a 600°C por 18 minutos. Passando antes pelos seguintes ciclos: desengraxe das peças, secagem em estufa, passagem de fluxo e secagem do fluxo .

## 3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES:

### 3.1- Análise Química

O resultado da análise química, mostrou que quando utilizou-se 0,3% de pastilhas de fósforo na fabricação da liga, ocorreu uma melhor homogeneização do silício, ou seja todos os 11 tarugos, ficaram com a composição química do silício dentro do especificado de acordo com os resultados mostrados na tabela II a seguir. Nota-se que o desvio padrão é menor no experimento 04, onde foi adicionado a maior quantidade de fósforo, isso evidencia menor variação no processo quanto ao teor silício.

Tabela II – Resultado da análise química do silício %

Tarugo	Experimento 01	Experimento 02	Experimento 03	Experimento 04
1	13,74	13,07	13,11	12,17
2	12,88	14,11	13,38	12,92
3	14,20	13,15	13,02	12,60
4	14,04	12,86	14,33	11,94
5	12,31	13,94	12,64	12,90
6	14,84	13,19	13,59	12,66
7	14,00	12,07	13,13	12,19
8	14,48	12,88	13,37	12,70

Continuação Tabela II - Resultado da análise química do silício %

Tarugo	Experimento 01	Experimento 02	Experimento 03	Experimento 04
9	13,95	13,10	12,47	12,35
10	14,08	14,71	13,83	12,55
11	13,50	13,72	14,35	11,94
Média	13,82	13,34	13,38	12,44
Desvio Padrão	0,70	0,72	0,61	0,35

### 3.2.1- Visual

Das 30 peças brasadas com anel do experimento 01, 25 não fundiram completamente o anel conforme indicado na seta da figura 3 e das 30 peças brasadas com os anéis do experimento 04, todas os anéis fundiram completamente conforme indicado na seta da figura 4

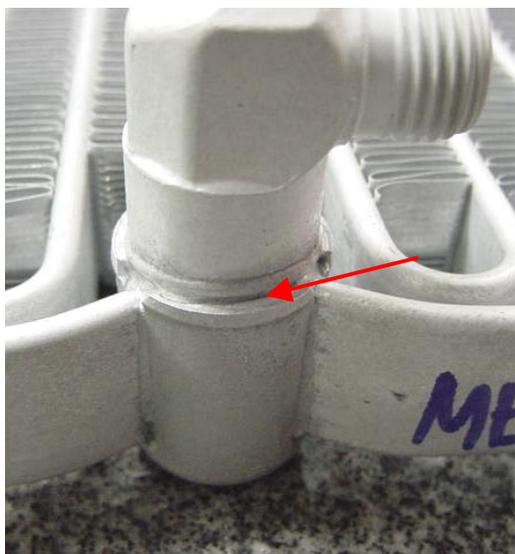


Figura 3 – A seta indica o anel não fundido

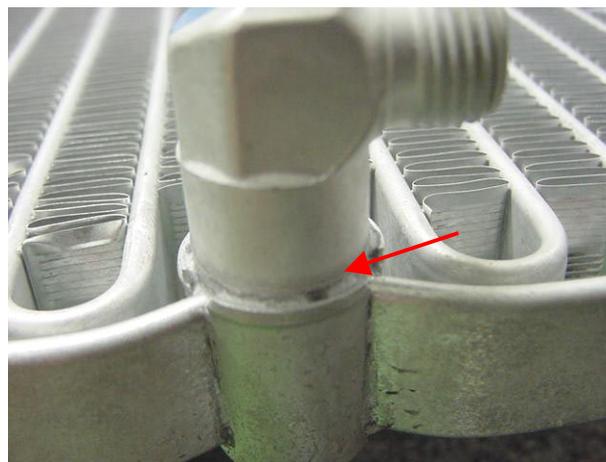


Figura 4 – A seta indica o anel fundido

### 3.2.2- Matalografia nos Tarugos Vazados

A tabela III, mostra que a medida que foi aumentado o teor de fósforo o tamanho do silício primário foi diminuindo. A figura 5, ilustra o maior tamanho do silício primário nos tarugos vazado sem adição de fósforo. A figura 6, ilustra a diminuição do tamanho do silício primário a medida que foi aumentando o teor de fósforo e na figura 7 tem-se o menor tamanho do silício primário quando foi utilizado o maior teor de fósforo

Tabela III – Tamanho do Si primário

Experimento	Tamanho do Si primário (média) $\mu\text{m}$
01	76,78
02	56,28
03	50,71
04	36,17

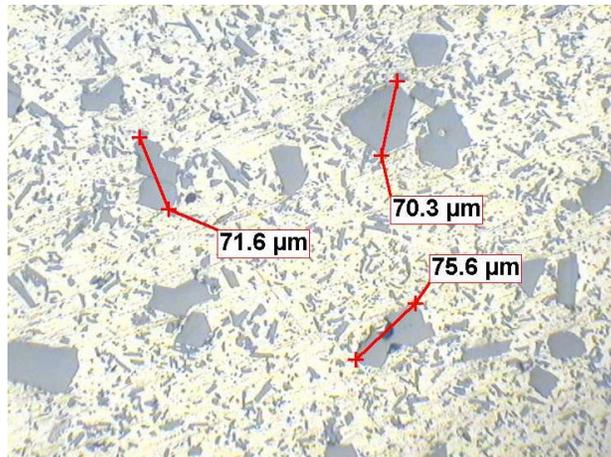


Figura 5 - Experimento 01 200 $\mu\text{m}$

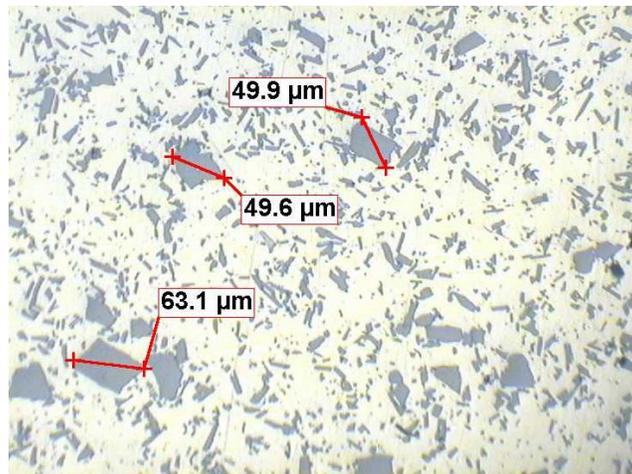


Figura 6 - Experimento 03 200 $\mu\text{m}$

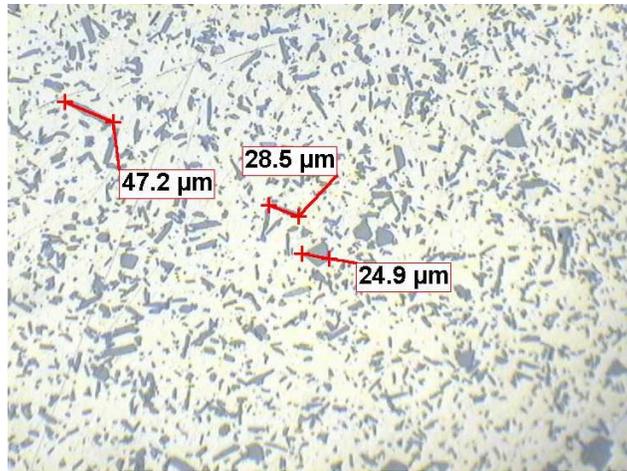


Figura 7 - Experimento 04 200 $\mu\text{m}$

### 3.2.3 - Metalografia na Junta Brasada

A figura 8, mostra o filete de brasagem da junta, quando foi utilizado o anel fabricado sem adição de fósforo na fusão da liga. Observa-se que o filete de brasagem ficou totalmente descontínuo, com muita possibilidade de vazamento da junta.

Na Figura 9, tem-se o filete de brasagem, da junta, quando foi utilizado um anel com maior quantidade de fósforo na fusão da liga. Nota-se que o filete está isento de descontinuidade, considerado perfeito, nesse caso o anel fundiu-se completamente no processo de brasagem.

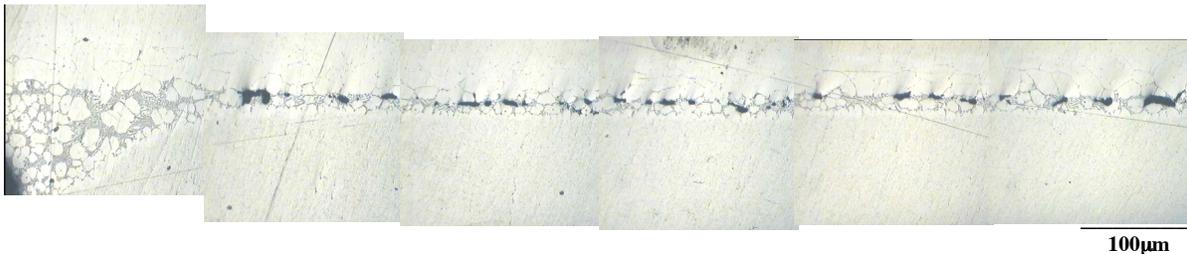


Figura 8 - Filete de brasagem da junta montada com anel do experimento 01



Figura 9 - Filete de brasagem da junta montada com anel do experimento 04

## 4- CONCLUSÕES

4.1 - A adição de fósforo ajuda homogeneizar e solubilizar o silício no forno de fusão, verificado pelo menor desvio padrão da composição química dos tarugos.

4.2 - A adição de fósforo refina o silício, melhorando as propriedades de brasagem do material do anel, utilizado como metal de adição, isto foi comprovado pela análise metalográfica da junta brasada e pelo aspecto visual.

4.3 - A adição de fósforo, homogeneizou e solubilizou o silício, deixando os 11 tarugos vazados do forno com a composição química dentro das especificações. Refinou o silício, comprovado pelo menor tamanho e conseqüentemente melhorou a performance de brasagem do metal de enchimento (anel), resultando em a junta sem descontinuidade no filete de brasagem.

## 5 – REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[01] JIS Handbook; “Non Ferrous Metals and Metallurgy”, 1987.

[02] Manual de Soldagem, Alumínio - ALCAN, 1º Edição, 1993

[03] Metal Handbook; “Metallography, Structures and Phase Diagrams”, vol.8, 8º Edição, 1973.

[04] Metal Handbook; “Welding, Brazing and Soldering”, vol.6, 9º Edição, 1983.

[05] PAULA, J.T; Influência do Tratamento Termomecânico no Processo de Brasagem das Aletas de Alumínio de Trocadores de Calor Automotivo. 76f. Dissertação (Mestrado em Engenharia dos Materiais) – CEFET – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Unidade Curitiba, 2003.

[06] PAULA, J.T; BORGES, P.C. Influência do Tamanho de Grão no Processo de Brasagem. II Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. João Pessoa- PB. 08/2002.

[07] Solidification Characteristics Of Aluminum Alloys; Volume 2, Foundry Alloys. Pag. 25-26 and 112-118,1990

[08] JIS 23263. Aluminum Alloy Brazing Filler Metallic and Brazing Sheets

[09] Atlante Metallografico. Ettore Di Russo. The Atlas of Microstructures of Aluminum Casting Alloys, Editora Edimet, Pag. 103,1993.

[10] Ramalho J. “Fenômenos de Molhamento, Espalhamento e Capilaridade envolvidos na Brasagem”. FATEC, 2001.

[11] Soldagem, “Associação Brasileira de Metais”, 20º Edição, São Paulo, Brasil, 1985.

## **ABSTRACT**

# **BRAZING:IMPROVEMENT OF THE PROPERTIES OF THE ADDITION METAL UTILIZING PHOSPHORUS IN EUTETIC ALLOY 4047**

**This article had its source due to the problems happened in the foundry process (melting) of the silicon-aluminum alloy 4047 (silicon content 11,0 until 13,0%). This alloy is used to manufactured ring (weld metal) for brazing process of automotive heat exchanger. During this rings nationalization process, it was checked that some rings from same lot didn't melt completely during brazing process while the imported ones manufactured with same alloy did. There was the possibility of client claim and leakage too due to the not complete melting of the national ring. The analysis done in national ring show that in the same lot there were rings with primary silicon size large and silicon content goes out of specification. The silicon content lower or higher increased the fusion point of the ring in brazing process. To improve the silicon homogenization during the alloy fusion process in the foundry and to decrease the primary silicon size were added pastilles of phosphorus with content 4,0 until 9,0%. We Conclusions in this article that when was add phosphorus the variability silicon content and primary silicon size decreased in all poured out metal from fusion furnace. In the results section are showed the silicon chemical composition in all billets by atomic absorption spectrophotometer, metallographic analyses before and after brazing and visual inspection after brazing about ring melting.**

**Key Words:** Aluminum, Brazing and Phosphorus