



## **BRASAGEM: INFLUÊNCIA DO TAMANHO DE GRÃO NO PROCESSO DE BRASAGEM.**

### **Jânio Tadeu de Paula**

Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná - CEFET-PR, PPGEM/LIM.  
Av. Sete de setembro, 3105, CEP 80230-901, Curitiba, PR, Brasil,  
TADEU\_PAULA@denso-diam.com

### **Paulo César Borges**

Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná - CEFET-PR, DAMEC/PPGEM/LIM.  
Av. Sete de setembro, 3105, CEP 80230-901, Curitiba, PR, Brasil,  
pborges@cefetpr.br

**Resumo:** *Este artigo apresenta a influência das variáveis de recristalização no processo de Brasagem de trocadores de calor para automóveis fabricados em liga de alumínio. O problema originou-se durante o processo de nacionalização da matéria prima das aletas utilizadas na confecção do trocador de calor. O material de Brasagem utilizado foi um clad com teor de silício de 10%. Este artigo mostra ainda a importância do crescimento de grão do material da aleta durante o processo de Brasagem a fim de evitar-se a distorção do trocador de calor, fato este, comprovado dimensionalmente, ou seja, quando não ocorre o crescimento de grão do material da aleta durante a Brasagem a mesma funde parcialmente na interface com o clad provocando distorções no trocador de calor. Concluímos neste artigo que quando não ocorre crescimento de grão do material da aleta ocorre difusão do silício do clad preferencialmente para as aletas, gerando com isto fusão parcial das aletas na interface placa aleta. Nos resultados são apresentados: a composição química das ligas obtidas por Espectrofotometria de absorção atômica; as propriedades mecânicas (mostrando o nível de encruamento das folhas) e o tamanho de grão (método de contagem de grãos) antes e após Brasagem; análise metalográfica da interface e o encolhimento.*

**Palavras chave:** *Brasagem; Alumínio; Clad; Encruamento e Difusão.*

## **I-INTRODUÇÃO**

A Brasagem dos componentes de alumínio 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. Para que a união seja perfeita é necessário que o líquido formado umecte as superfícies dos metais base e seja conduzido por capilaridade para os vazios existentes [Soldagem, 1985].

Na Brasagem de 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. Estão disponíveis em formas de vareta, arames, pó, pasta associada ao fluxo e chapa “CLAD” (chapa com recobrimento de metal de adição de um ou dos dois lados). As principais vantagens da utilização do CLAD consistem na possibilidade de Brasagem de muitos pontos ao mesmo tempo bem como a Brasagem em locais inacessíveis por outros métodos [Manual de Soldagem – ALCAN, 1993].

Este trabalho originou-se a partir de problemas ocorridos durante o processo de nacionalização do material das aletas do trocador de calor confeccionado em liga de alumínio IADS 3003. Durante a Brasagem utilizando-se material de um fornecedor brasileiro as peças sofreram um encolhimento acentuado provocando distorções (ver fig. 01). As análises micrográficas da interface placa aleta mostra a fusão das aletas na interface placa aleta, gerando o seu encolhimento.

As principais hipóteses levantadas como causa do problema apresentado acima são:

1. material fornecido com composição fora da especificação e conseqüentemente com ponto de fusão inferior;
2. fusão da aleta como conseqüência da difusão do silício do CLAD para a aleta.

É conhecido que no estado sólido a difusão pode ocorrer de três formas principais as quais são: volumétrica ( $D_v$ ); por contorno de grão ( $D_{cg}$ ) e superficial ( $D_s$ ) [Reed, 1982]. Sabe-se também que  $D_v < D_{cg} < D_s$  [Reed, 1982]. Desta forma um tamanho de grão da aleta muito pequeno durante o processo de Brasagem poderia aumentar a difusão em direção a ela. Visto que sua espessura é muito fina quando comparado à espessura da placa. Supondo que o teor de silício da aleta em contato com o CLAD venha a ser de apenas 5%, na temperatura de Brasagem (600 °C) e considerando o diagrama Al-Si, teria-se aproximadamente 46 % de líquido, justificando assim o encolhimento do trocador de calor.



**Figura 01 – Trocador de calor após Brasagem: a) apresentando distorção material nacional; b) sem distorção, material importado.**

Deve se considerar também que o problema pode originar-se de um tamanho de grão pequeno no recebimento da matéria prima e/ou de uma matéria prima com taxa de encruamento muito elevada com conseqüente recristalização durante Brasagem, resultando assim em um tamanho de grão muito pequeno durante o processo de Brasagem.

Desta forma o objetivo deste trabalho é identificar as causas do encolhimento, bem como propor soluções.

## II – METODOLOGIA

Neste trabalho utilizaram-se os seguintes materiais e métodos.

### Materiais

ALETAS™ - Na Tabela 01 temos a especificação para as folhas de alumínio utilizadas na fabricação das Aletas conforme norma JIS4160 Aluminium and Aluminium Alloy Foils. Todos os materiais nacionais foram adquiridos da CBA. (Companhia Brasileira de Alumínio).

As aletas foram fabricadas com Folhas de Alumínio, liga IADS 3003 espessura  $0,10^{\pm 0,01}$  mm com os seguintes tratamentos termomecânicos (IADS "Internacional Alloy Designation System" ou Sistema internacional de designação de Ligas).

H18 – Tratamento termomecânico que conduz a resistência obtida após uma redução a frio de 75% após recozimento total.

H24 - Material endurecido a  $\frac{1}{2}$  do limite de resistência do H18, por laminação a frio e recozimento parcial.

PLACAS™ - O material das placas são confeccionados conforme figura 02. O material do clad (liga BA 4104) é laminado em ambos os lados do Núcleo que consiste na liga A3N35. A composição química especificada é mostrada Tabela – I.

### Análise Química:

As composições químicas das folhas (liga 3003) foram obtidas pela técnica de espectrofotometria de absorção atômica em um equipamento da marca SHIMAZU modelo AA-6401F conforme norma NBR 8310. Estes resultados são comparados com os valores obtidos da especificação da norma JIS4160. Para as placas a Clad a composição química foi extraída do certificado do fornecedor.

Tabela I - Composição química especificada para Aleta e Placa (% Peso)

liga	Cu	Si	Fe	Mn	Mg	Zn	Ti
Aleta IADS 3003	0,05- 0,20	0,6máx	0,7máx	1,0 – 1,5	-	0,1 máx	-
Núcleo A3N35	0,25 -0,35	0,20máx	0,25máx	0,8-1,2	0,15-0,3	0,15máx	0,12-0,20
Clad BA4104	0,25máx	9,0- 10,5	0,8máx	0,10máx	1,0-1,5	0,2máx	-

### Montagem

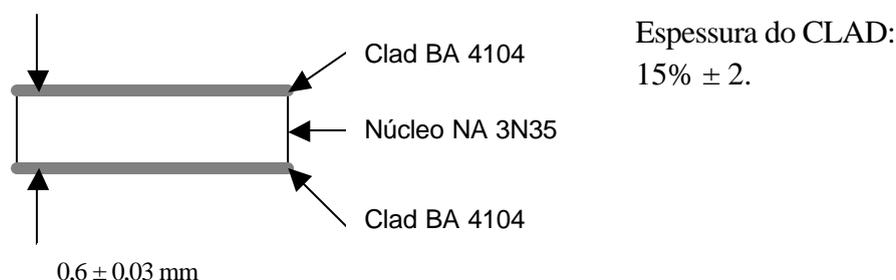


Figura 02 – Esquema das Placas

A montagem do trocador de calor é realizada de acordo com a figura 08 abaixo. Nesta foto podemos visualizar o conjunto, Aleta Placa (aleta corrugada + placa com CLAD).

Esta montagem é realizada de forma a garantir o dimensional especificado em desenho do produto Denso ( $252 \pm 1\text{mm}$ ). As medidas são obtidas através de um Paquímetro nas posições 1 e 2 (Figura 3). Os resultados apresentados no trabalho são a média de três medidas em quatro peças.

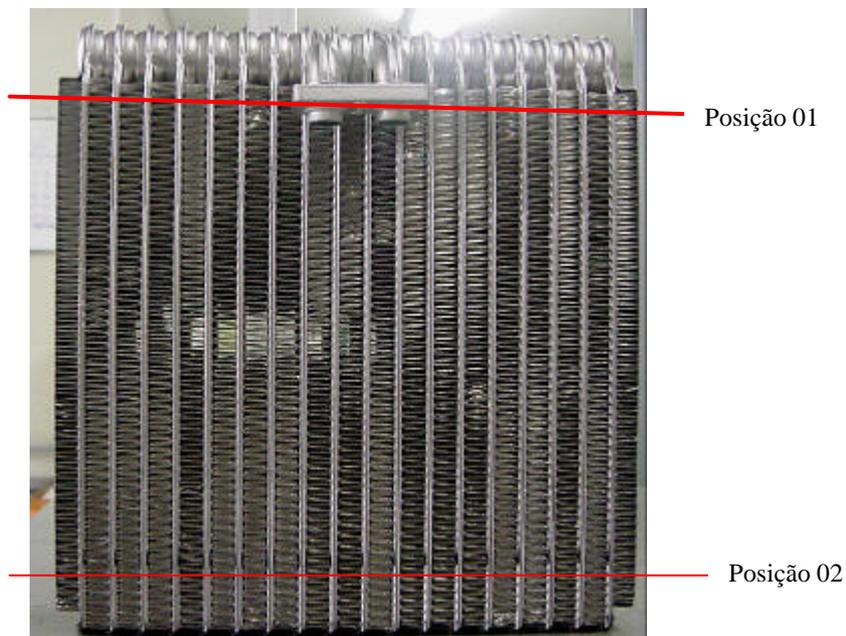


Figura 3 – Montagem do trocador de calor para Brasagem.

## Brasagem

Antes da Brasagem propriamente dita os trocadores são aquecidos em estufa a fim de eliminar todo o óleo residual do processo de fabricação das peças. O ciclo de Brasagem é ocorre em três estágios os quais são:

- 1) pré-aquecimento à temperatura de  $450^{\circ}\text{C}$  por 18 minutos,  $P = 10^{-2}$  torr;
- 2) brasagem à temperatura de  $600^{\circ}\text{C}$  por 18 minutos  $P = 10^{-5}$  torr e
- 3) resfriamento à temperatura de  $100^{\circ}\text{C}$ ,  $P = 10^{-2}$  torr e tempo suficiente para as peças saírem da câmara de brasagem, evitando-se a contaminação.

## Propriedades Mecânicas

Com o objetivo de avaliar o grau de encruamento das chapas determinou-se a Tensão de Escoamento ( $\sigma_{0,2}$ ), Tensão Máxima a Tração ( $\sigma_m$ ) e o alongamento conforme norma NBR8308. As folhas de alumínio foram ensaiadas antes e após passarem pelo ciclo de brasagem. Utilizou-se uma Máquina de Ensaio Universal marca EMIC modelo DL10000 com célula de carga de 1000kgf.

## Metalografia

Com o objetivo de se determinar a espessura do Clad e a interface de Brasagem, preparou-se as amostras através de: corte em disco adiamantado, lixamento, polimento em pasta de diamante e sílica coloidal. As amostras foram observadas em um microscópio metalográfico OLYMPUS modelo PMG com e sem ataque químico O reagente utilizado foi uma solução de Acido Fluorídrico a 0,5%.

## Tamanho de Grão

Para a medição do Tamanho de Grão as folhas de alumínio foram atacadas por imersão com reagente químico de pulton's [Metals Handbook, vol. 8, pag121] As medições foram realizadas de acordo com o método de contagem de grãos conforme Norma Interna M17-Method for Evaluation Grain Size of Fin After Brazing.

## Propriedades do Produto Acabado

### Encolhimento

O encolhimento foi determinado de acordo com a equação abaixo.

$$\text{Equação - 01} \quad E_n \% = 100 \circ \frac{(L_{on} - L_{fn})}{L_{on}}, \text{ onde:}$$

$E_n\%$  = encolhimento na posição n (n = 1, 2), em porcentagem;

$L_{on}$  = comprimento Inicial na posição n (antes da Brasagem);

$L_{fn}$  = comprimento final na posição n (depois da Brasagem).

As medidas foram obtidas através de um paquímetro. Os comprimentos utilizados na Eq. 01 consistiram na média de três medidas.

## III – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente procurou-se averiguar a composição química dos materiais utilizados de forma a verificar uma possível influência na temperatura de fusão das partes envolvidas. Os resultados são mostrados na Tabela II e III. Nestas tabelas constatou-se que as composições dos materiais utilizados encontram-se de acordo com o especificado na Tabela I.

Através da análise metalográfica verificou-se também não existir diferenças na espessura do Clad das placas analisadas.

Tabela II – Composição Química das Aletas.

Identificação		COMPOSIÇÃO QUÍMICA					
		Mn	Cu	Mg	Fe	Zn	Ti
IADS 3003 H18 NACIONAL	Méd.	1,08	0,18	0,02	0,39	0,01	0,02
	Desv. Pad.	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
IADS 3003 H24 NACIONAL	Méd.	1,07	0,18	0,01	0,43	0,01	0,02
	Desv. Pad.	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
IADS 3003-H18 IMPORTADA	Méd.	1,15	0,16	0,00	0,59	0,05	-
	Desv. Pad.	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00

Tabela III – Composição Química das Placas (% peso).

LOCAL	Si	Fe	Cu	Mn	Ni	Zn	Ti	Bi	Mg	Cr
Clad	10,0	0,29	0,03	0,04	0,004	0,02	0,03	0,12	1,3	0,01
Núcleo	0,1	0,18	0,28	1,0	0,005	0,01	0,15	0,0006	0,23	0,008

A Tensão Máxima, Tensão de Escoamento, Alongamento e o Tamanho de Grão (Tg.) antes e após ciclo de brasagem são mostrados na Tabela IV.

Os principais fatores com influência nas propriedades mecânicas apresentadas na Tabela IV são: composição química e grau de encruamento. Como visto na Tab. III a composição química das folhas utilizadas são similares, podemos então descartar a hipótese desta variável ter influenciado no encolhimento. A análise da Tab. IV também permite verificar, que o material H -18 apresenta-se com os maiores valores  $\sigma_m$  e  $\sigma_{0,2}$ , podendo-se assim inferir, que este material apresenta-se mais encruado.

**Tabela IV –Propriedades Mecânicas das Folhas. Antes e após Ciclo de Brasagem.**

IDENTIFICAÇÃO		Antes do Ciclo de Brasagem				Após Ciclo de Brasagem			
		$\sigma_m$ (MPa)	$\sigma_e$ (MPa)	A% (%)	Tg (mm)	$\sigma_m$ (MPa)	$\sigma_e$ (MPa)	A% (%)	Tg (mm)
IADS 3003 H18 NACIONAL	Méd.	260,4	234,1	1,9	id <sup>1</sup>	106,6	55,4	5,1	0,094
	Desv. Pad.	0,2	4,4	0,3	-	2,0	4,0	0,6	0,012
IADS 3003 H24 NACIONAL	Méd.	161,2	154,7	4,4	0,231	76,7	47,6	2,3	0,401
	Desv. Pad.	2,7	3,8	0,5		7,5	1,3	0,6	0,020
IADS 3003 H18 IMPORTADA	Méd.	212,7	199,2	1,6	id	87,4	46,7	2,9	0,168
	Desv. Pad.	3,1	4,1	0,2	-	2,9	2,4	0,8	0,004

Na Tabela V abaixo são mostradas as dimensões obtidas antes e após Brasagem e o encolhimento (Conforme Eq. 01). É possível verificar que o encolhimento no ponto dois (parte inferior do trocador) é superior para todas as amostras. Isto ocorre em virtude da maior rigidez do conjunto na posição 1 (Ver figura 03). Verifica-se também que o material H – 18 Nacional sofreu um alto grau de encolhimento inutilizando-se assim o componente. Já o material H – 24 Nacional sofreu um encolhimento inferior até mesmo ao material H – 18 Importado, estando assim dentro das especificações, ou seja atendendo o dimensional especificado em desenho do produto Denso. Voltando a Tab. IV. Verifica-se também que após ciclo de brasagem o maior tamanho de grão foi obtido para o material H – 24 Nacional. Comprovando-se assim a importância do tamanho de grão na difusão do Si preferencialmente para a folha, “aleta”.

**Tabela V – Medidas (mm) obtidas das peças montadas posição 01, Brasadas posição 02 e Encolhimento (%).**

Material		Ponto 01		Ponto 02		Encolhimento	
		Antes	Após	Antes	Após	Ponto 1	Ponto 2
IADS 3003 H18 Nacional	Méd.	251,92	246,91	250,51	237,02	1,99	5,39
	Desv. Pad.	0,48	0,44	0,31	3,35		
IADS 3003 H24 Nacional	Méd.	252,14	248,22	251,25	246,68	1,55	1,82
	Desv. Pad.	2,33	0,92	0,34	0,69		
IADS 3003 H18 Importado	Méd.	252,82	247,97	251,92	246,71	1,92	2,07
	Desv. Pad.	2,49	0,55	0,12	0,50		

Na Figura 04 abaixo se verifica o estado da interface placa/aleta das amostras Brasadas. Em 4 a) temos a interface para a amostra Brasada com o material H – 18 Nacional, em 4 b) a

<sup>1</sup> Id = Impossível de se determinar pelo método adotado (muito fino)

interface para a amostra Brasada com o material H – 24 Nacional e em 4 c) a interface para a amostra Brasada com o material H – 18 Importado. Pode-se verificar que ocorre uma dissolução e/ou fusão do material da aleta, verifica-se também uma maior dissolução no sentido H – 24 Nacional < H – 18 Importado < H – 18 Nacional. Na figura 4a é praticamente impossível identificar a aleta na interface, visualiza-se apenas a placa e o “metal de adição”, sendo que o material da aleta, apresenta-se visível longe do ponto de contato inicial. Já para a Fig. 4 b a aleta permanece praticamente intacta, sendo visível ao longo de todo o contorno. Em 4 c temos uma situação intermediária.

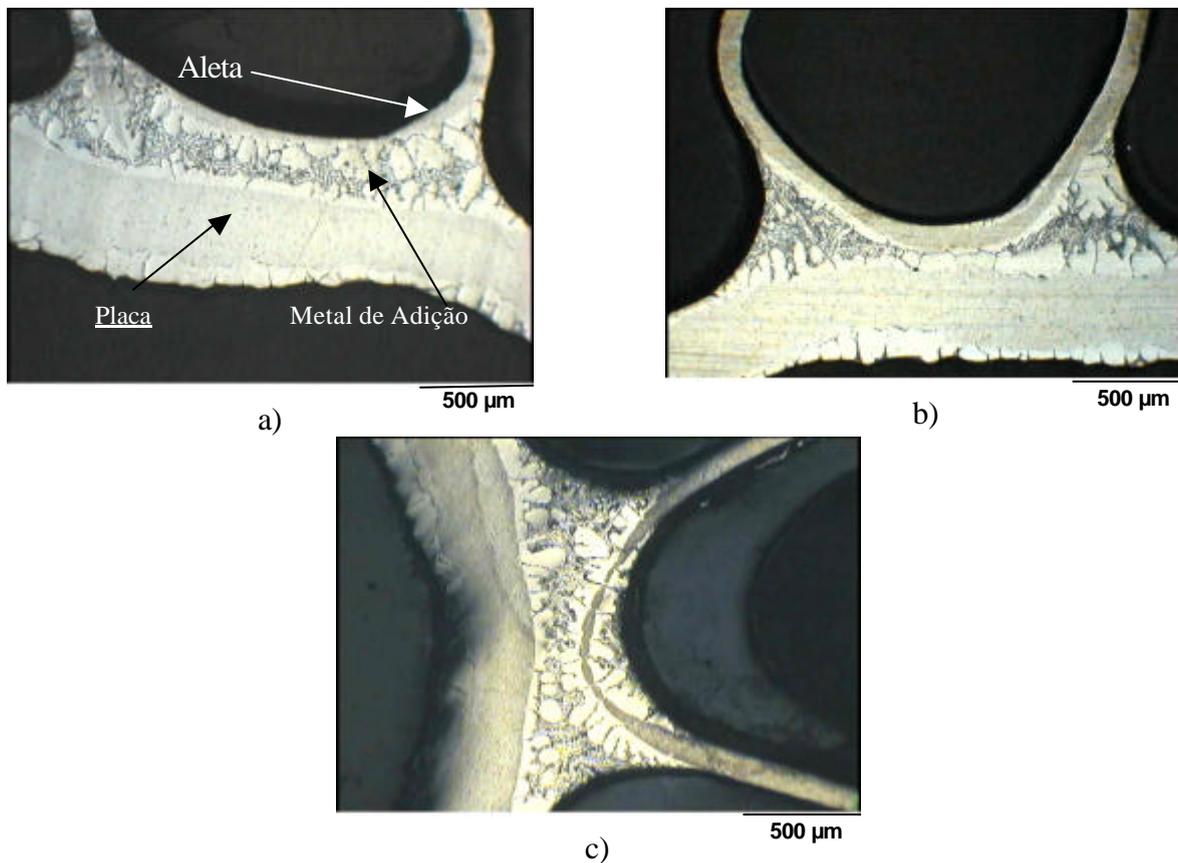


Figura 04 – Micrografia da Interface Aleta/Placa: a) H – 18 Nacional; b) H – 24 Nacional e c) H - 18 Importado.

## CONCLUSÕES:

1. O maior encolhimento encontrado no processo quando da brasagem do material H – 18 Nacional ocorreu em função do seu menor tamanho de grão durante Brasagem;
2. O encolhimento ocorre em função da dissolução do material da aleta na interface placa aleta;
3. O material H – 18 Nacional apresenta-se com maior grau de encruamento;
4. O material H – 24 Nacional substitui o material H - 18 Importado com vantagens.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimento ao pessoal do laboratório de Materiais da Denso do Brasil pela colaboração na realização dos ensaios, Srs. Maurício, Ednilson, Thales e Sra. Vanessa. E em especial ao diretor da Denso do Brasil, Eng.º Paulo Ninomiya, pelo incentivo demonstrado na elaboração deste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] Apostila da SOLVAY;2000 “Nocolock Flux-Brazing Seminar”.
- [02] Coutinho, T.A;1980, “Análise e Prática Metalografia de Não Ferrosos”, Ed. Edgard Blücher Ltda, São Paulo, Brasil.
- [03] JIS Handbook;1987, “Non Ferrous Metals and Metallurgy”.
- [04] Manual de Soldagem, Alumínio - ALCAN,1993, 1ª Edição.
- [05] Metals Handbook;1973, “Metallography, Structures and Phase Diagrams”, vol. 8, 8º Edição
- [06] Metals Handbook;1983, “Welding, Brazing and Soldering ”, vol.6, 9º Edição
- [07] Norma interna DENSO nº M17;1980, “Method for Evaluating grain size of fin after brazing
- [08] NBR 8308;2000, “Folhas de Alumínio e suas Ligas – Ensaio de Tração”
- [09] NBR 8310;2001, “Folhas de Alumínio e suas Ligas – Requisitos”
- [10] Padilha, A F e Siciliano, F.Jr;1996,“Encruamento, Recristalização, Crescimento de grão e Textura”, Ed. Estúdio J.I de Artes Gráficas S/C Ltda, São Paulo, Brasil.
- [11] Reed, R.E-Hill;1982, “Princípios de Metalurgia Física”, Ed. Guanabara Dois S.A, Rio de Janeiro, Brasil..
- [12] Soldagem;1985 , “Associação Brasileira de Metais”, 20ª Edição, São Paulo, Brasil.

## DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

## ABSTRACT

### **Brazing: Influence of the grain size in the brazing process**

This work deals with the recrystallization parameters influence in the brazing process of heat exchanger produced from aluminum alloy. The problem arose during the process of nationalization of the fins used to make the heat exchanger. This work shows the grain growth importance during the brazing process in order to avoid the heat exchanger distortion. When the grain grows doesn't occur during the brazing process it melts partially in the clad interface and a heat exchanger distortion was observed. In resume, we observed that when doesn't happen grain growth a diffusion of the silicon from the clad to the fins takes place. This fact will promote a partial fins melting in the interface plate/fin. In the results section is showed the chemical composition of the alloys produced by atomic absorption Spectrophotometry; the mechanical properties (showing the strain hardening sheet coefficient) and the grain size (grain counting method) before and after the brazing process; the interface metallographic and the shrinkage.

**Key Words:** *Brazing; Aluminum; Clad; Cold Working and Diffusion.*