

INFLUÊNCIA DA RESISTÊNCIA AO SAGGING* DAS FOLHAS FINAS DE ALUMÍNIO NO PROCESSO DE BRASAGEM DE TROCADORES DE CALOR AUTOMOTIVOS ¹

Jânio Tadeu de Paula ²
Augusto J. A. Buschinelli³

Resumo

Este artigo estuda as causas da resistência ao Sagging (Curvatura) das folhas finas de alumínio na liga 3003, durante o processo de brasagem, material utilizado para fabricar aletas de trocadores de calor automotivos. Quando da utilização de matéria prima nacional observou-se uma redução na espessura do trocador (encolhimento) em cerca de até 30% das peças, gerada principalmente pela curvatura excessiva das aletas do trocador de calor, fenômeno inexistente no uso de material importado. O material de adição utilizado no processo de brasagem foi um Clad com teor de silício em torno de 10%. Esse artigo mostra a importância de aumentar a resistência ao sagging do material da aleta (diminuição da curvatura), na temperatura de brasagem a fim de diminuir o risco de encolhimento do trocador de calor. Nos resultados são apresentados a composição química das folhas por espectrometria de absorção atômica. Os tratamentos térmicos feitos nas folhas nacional a fim de aumentar a resistência ao sagging do material, o tamanho de grão das folhas antes e após ciclo de brasagem, as propriedades mecânicas das folhas, antes do processo de brasagem (mostrando o nível de encruamento), dureza antes da brasagem, ensaio de sagging feitos nos corpos de prova das folhas, simulando a deformação (curvatura) das aletas na temperatura de brasagem e a qualidade da junta brasada, através da análise metalográfica, antes e após tratamento térmico. Conclui-se nesse artigo que um tratamento térmico preliminar proporcionou uma melhoria significativa na resistência ao sagging das folhas de alumínio da liga 3003 nacional na temperatura de brasagem, eliminando o problema do encolhimento do trocador.

Palavras-chave: Alumínio; Brasagem; Sagging; Tratamento térmico

SAGGING RESISTENCE INFLUENCE ON THE ALUMINIUM FINE FOILS IN THE BRAZING PROCESS OF AUTOMOTIVE HEATER EXCHANGER

Abstract

This article shows the causes of sagging resistance during the brazing process of Aluminium fine foil at alloy 3003. This material is used to make fin of automotive heater exchanger. When it was utilized national material raw was verified exchanger thickness reduction (shrinkage) about 30% of parts. This was generated mainly by excessive curvature (low sagging resistance) of the heater exchanger fins. This phenomenon was absent when imported raw material was utilized. The brazing material was a CLAD with 10% Silicon. This article shows yet the increasing sagging resistance importance of fin material (lower of curvature) at brazing temperature to lower the risk of heater exchanger shrinkage. In the results section are showed the chemical composition of the foils by atomic absorption spectrophotometer. The heat treatments done in the foils to increase the material sagging resistance, the grain size foils before and after the brazing cycle. The foil mechanical properties (showing the strain hardening), the hardness before brazing cycle, sagging resistance test done in the foil specimen simulating the deformation (curvature) of fin at brazing temperature and the brazed joint quality by metalograph analysis before and after heat treatment. In Conclusion in this article that a preliminary heat treatment provided a considerable betterment on the sagging resistance aluminum foils alloy 3003 at brazing temperature eliminating the shrinkage problem.

Key words: Aluminium; Brazing; Sagging; Heat treatment

* Sagging é a flexa formada (curvatura) do material na temperatura de brasagem.

¹ Contribuição técnica apresentada na 61º Congresso Anual da ABM, de 24 a 27 de julho de 2006, Rio de Janeiro – RJ

² Tec, Eng. °, MSc, Doutorando pela UFPR – Responsável Laboratório de Materiais da DENSO do Brasil. TADEU_PAULA@denso-diam.com

³ Dr. Professor Titular – Laboratório de Soldagem. Universidade Federal de Santa Catarina. buschi@emc.ufsc.br

1 INTRODUÇÃO

A brasagem de componentes de alumínio, principalmente de trocadores de calor é amplamente utilizada na indústria metal mecânica. As principais vantagens desse processo são: A possibilidade de unir dois metais com ponto de fusão muito diferente; possibilidade de união de centenas ou até milhares de pontos em uma única operação, portanto baixo custo; possibilidade de unir componentes de geometria complexa.⁽¹⁾ A característica essencial do 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 deve fundir e molhar as superfícies da interface do(s) metal(is)-base formando uma união.⁽²⁾ Na brasagem de trocadores de calor em alumínio normalmente utiliza-se metal de adição à base de alumínio silício com composição química eutética ou próxima dela; geralmente em forma de vareta, arame, anéis ou CLAD (chapa com recobrimento de metal de adição de um ou ambos os lados).⁽³⁾ As principais vantagens da utilização do CLAD como metal de adição consistem, na possibilidade de brasagem de muitos pontos ao mesmo tempo, bem como a brasagem em locais inacessíveis por outros métodos.⁽³⁾

Este trabalho originou-se de problemas ocorridos no processo de brasagem de trocadores de calor, ou seja, quando foi empregado material nacional (liga de Alumínio 3003H18), aconteceu encolhimento do trocador (redução da espessura), enquanto isso não acontecia, quando do uso do material importado. Três principais hipóteses explicativas foram levantadas: 1) Poderia ser a erosão da aleta na interface da placa, através da difusão do Silício do CLAD da placa para o material da aleta pelos contornos de grão durante o processo de brasagem, conforme estudado por Paula.⁽²⁾ 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). Sabe-se também que $D_v < D_{cg} < D_s$.⁽⁴⁾ Desta forma um tamanho de grão da aleta muito pequeno durante o processo de brasagem poderia aumentar a difusão do silício do clad da placa em direção a ela. Visto que sua espessura é muito pequena quando comparada à da placa.

2) A composição química da folha, que poderia estar com o teor de ferro maior, gerando tamanho de grão menor no material no processo de brasagem, conforme estudado por Paula e Borges.⁽⁵⁾ 3) A hipótese mais provável era a baixa resistência ao sagging do material, gerando deformação da aleta na temperatura de brasagem (formação da flexa). O tamanho de grão pequeno alcançado pelo material no processo de brasagem, diminui a resistência ao sagging, conforme constatado por Kent Scholi, em folhas de alumínio com CLAD.⁽⁶⁾ Essa hipótese era então desconhecida, visto que a resistência do material (escoamento) aumenta com a diminuição do tamanho de grão conforme relação proposta por de Hall – Petch.⁽⁷⁾

Conforme comentado por Kinoshita⁽⁸⁾ o comportamento do material em alta temperatura (brasagem) é diferente da relação de Hall - Petch que é aplicada pra temperaturas abaixo da recristalização. A deformação do material abaixo da temperatura de recristalização, acontece através do alongamento dos grãos e principalmente pelo mecanismo deslocamento por deslizamento internos nos grãos, logo um material com grão mais fino tem maior resistência conforme

mostrado na relação de Hall - Petch. Em alta temperatura (temperatura de brasagem) a deformação do material acontece também pelo alongamento dos grãos, mas principalmente pelos deslizamentos dos grãos, logo, tamanho de grão maior alcançado na temperatura de brasagem, aumenta a resistência mecânica do material, diminuindo a curvatura do mesmo (Aumento da resistência ao sagging).

Deve-se considerar também que o tamanho de grão está diretamente relacionado com o grau de encruamento da folha de alumínio conforme comentado por Paula.⁽²⁾ Os principais objetivos desse artigo são:

1-Estudar a influência da resistência ao sagging da matéria prima (folhas de alumínio liga 3003) no processo de brasagem.

2-Definir um tratamento térmico preliminar específico a ser feito na matéria prima nacional, para aumentar a resistência ao sagging da mesma a fim de eliminar o problema de encolhimento do trocador de calor.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais e Montagem do Trocador de Calor

As aletas são fabricadas a partir de folhas finas de alumínio com espessura de 0,1mm na liga AA3003, cuja a composição nominal consta na Tabela 1. As folhas fornecidas pelo fabricante nacional são produzidas pelo processo caster na tempera H18.

- Processo caster: O alumínio líquido é vazado diretamente no cilindro de laminação, onde sai uma chapa de 7mm de espessura. Nessa espessura é feita a homogeneização e em seguida a chapa é laminada a frio até a espessura de 0,4mm.
- H18 - Tratamento termomecânico que confere resistência obtida após uma redução a frio de 75% da espessura, após recozimento total.

Tabela 1. Composição Química Nominal da liga AA3003 (NBR 6835)

Tratamento termo mecânico	Composição química (%)				
	Silício	Ferro	Manganês	Cobre	Zinco
AA 3003H18	0,6 max	0,6 max	1,0 ~1,5	0,05 ~ -0,20	0,1 max

A configuração dos componentes das placas é apresentada esquematicamente na Figura 1, sendo a espessura total da placa 0,6mm. A camada de CLAD (liga BA4004); 0,09mm na superfície de ambos os lados, serve de material de adição no processo de brasagem. A especificação da composição química da placa está apresentada na Tabela 2.

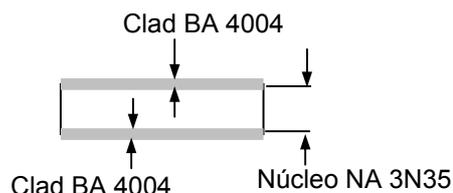


Figura 1. Esquema dos materiais componentes da placa do trocador de calor.

Tabela 2. Composição química dos materiais componentes da placa (JIS Z 3263)

Elementos	Especificação (%)	
	Núcleo	CLAD BA4004
Cobre	0,25 ~ 0,35	0,25 máximo
Silício	0,20 máximo	9,0 ~ 10,5
Ferro	0,25 máximo	0,8 máximo
Manganês	0,8 ~ 1,2	0,10 máximo
Magnésio	0,15 ~ 0,3	1,0 ~ 2,0
Zinco	0,15 máximo	0,2 máximo
Alumínio	restante	restante

A montagem da aleta na placa do trocador no processo de brasagem está mostrada na Figura 2. Na Figura 2A tem-se a peça montada para brasagem, e a Figura 2B mostra detalhe esquemático da junta aleta – placa.

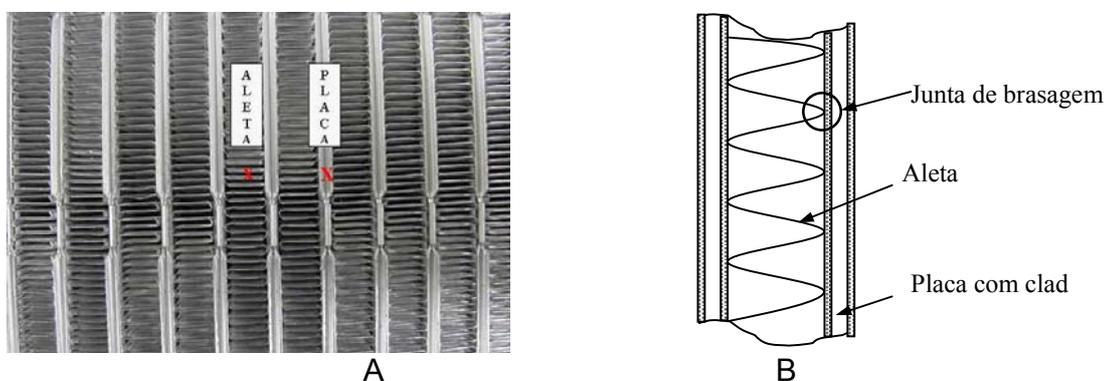


Figura 2. Montagem da aleta na placa.

2.2 Metodologia

2.2.1 Análise química

As composições químicas das folhas (liga AA 3003) foram obtidas pela técnica de Espectrofotometria de Absorção Atômica em um equipamento da marca SHIMAZU modelo AA-6401F conforme norma NBR 8310.⁽⁹⁾ Para as placas, a composição química do Clad e do núcleo foram extraídas do certificado do fornecedor.

2.2.2 Processo de brasagem

Antes da brasagem propriamente dita, é feita uma limpeza térmica dos materiais do trocador de calor, em estufa, a fim de eliminar todo o óleo residual do processo de fabricação das peças. A brasagem é feita em forno à vácuo em três estágios:

- 1) Pré-aquecimento à temperatura de 450°C por 18 minutos, na câmara de baixo vácuo;
- 2) Brasagem à temperatura de 600°C por 18 minutos, na câmara de alto vácuo;
- 3) Resfriamento à temperatura de 100°C, na câmara de baixo vácuo;

2.2.3. Propriedades mecânicas e ensaio de dureza Vickers

Com o objetivo de avaliar o grau de encruamento das folhas foram verificadas a Tensão de Escoamento ($\sigma_{e0,2}$), Tração máxima (σ_m) e o Alongamento conforme

norma NBR8308. As folhas de alumínio foram ensaiadas antes de passarem pelo ciclo de brasagem. Utilizou-se uma Máquina de Ensaio Universal marca EMIC modelo DL10000 com célula de carga de 1000kgf. Foram feitos ensaios nas folhas importada e nacional, após tratamento térmico. O ensaio de dureza foi realizado na seção da folha com carga de 25g em um Microdurômetro Buehler modelo Micromet 5103, conforme norma ASTM E-92⁽¹⁰⁾ e Figura 3.



Figura 3. Esquema de medição de microdureza dureza(HV)

2.2.4 Metalografia e tamanho de grão

Para análise metalográfica preparou-se as amostras através de: corte em disco diamantado, lixamento, polimento com pasta de diamante e acabamento final em sílica coloidal. As amostras foram observadas em um microscópio metalográfico OLYMPUS modelo PMG3 após ataque químico por solução de ácido fluorídrico a 0,5%.

Com o objetivo de avaliar a qualidade da junta brasada na interface aleta placa, bem como a deformação da aletas entre as placas foi feita análise da junta em corpos de prova preparados com material nacional conforme recebido, bem como após sofrer tratamento térmico. Para a medição de Tamanho de Grão as folhas de alumínio foram atacadas por imersão em reagente químico de Pulton's.⁽⁷⁾ As medições foram realizadas de acordo com o método de contagem de grãos conforme Norma Denso do Japão (M17-Method for Evaluation Grain Size of Fin After Brazing).⁽¹¹⁾

2.2.5 Tratamento térmico nas folhas H18

As folhas nacionais foram submetidas a diferentes tratamentos térmicos, em um forno da marca Jung modelo 10070 com recirculação de ar, sendo que a temperatura foi monitorada diretamente nas folhas com termoelemento dentro do forno, colado na carga, para evitar qualquer discrepância entre a temperatura do forno e da carga. O tempo foi mantido em 16hs e as temperaturas utilizadas foram 210°C, 220°C, 230°C, 240°C, 250°C e 270°C.

2.2.6 Teste de resistência ao Sagging (Curvatura)

O teste recomendado pela literatura⁽⁶⁾ e ilustrado na Figura 4 é executado da seguinte forma. Mede-se a flexa formada na amostra, com comprimento livre de 50mm, largura 20mm, após 5 minutos a temperatura 600°C. O resultado é a flexa formada na amostra, conforme Figura 4. É definido como melhor resultado a folha que obter maior resistência ao sagging, ou seja, menor flexa na temperatura de brasagem

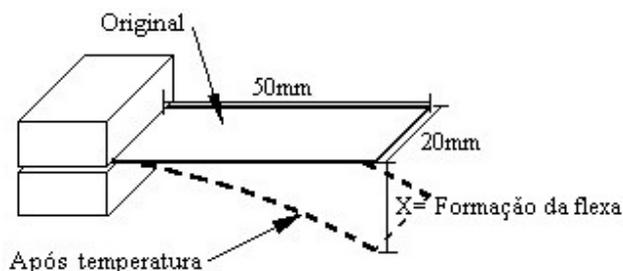


Figura 4. Teste de resistência ao Sagging.

2.2.7 Determinação do encolhimento dos trocadores de calor

O encolhimento foi determinado na posição inferior do trocador, devido ser a mais crítica de acordo com a Figura 5. Foram passados simultaneamente no forno de brasagem 10 trocadores para cada situação da matéria prima. Foi considerado trocador encolhido, a peça que ficou com a medida abaixo do mínimo especificado.

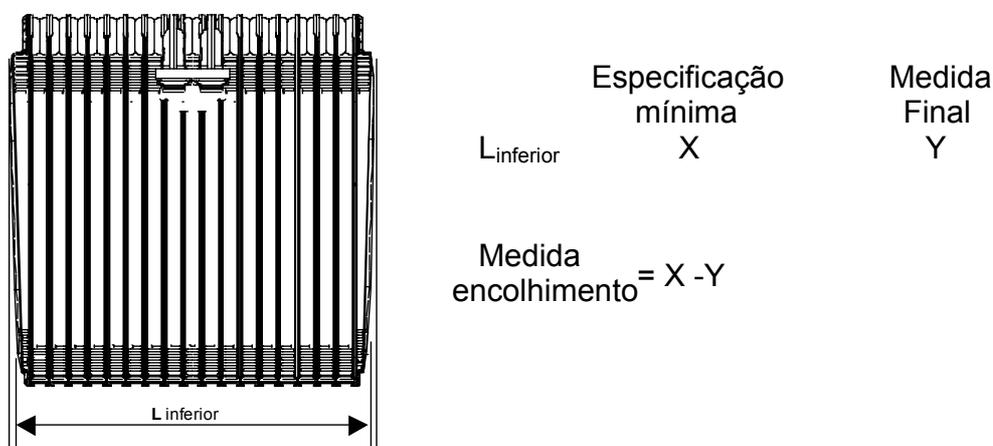


Figura 5. Esquema de medida do encolhimento do trocador de calor

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Composição Química

Inicialmente procurou-se averiguar a composição química dos materiais utilizados de forma a verificar uma possível influência na temperatura de fusão das partes envolvidas ou da influência do teor de Ferro no material da folha, dentro da liga

AA3003H18. Os resultados estão mostrados nas Tabelas 3 e 4. Nestas Tabelas constatou-se que as composições dos materiais encontram-se de acordo com o especificado nas Tabelas 1 e 2. Essa composição obtida na Tabela 3, tinha como maior interesse verificar a variação do teor de ferro (Fe) e do silício (Si) dentro da liga 3003.

Tabela 3. Composição Química das folhas

	Composição química (%)				
	Silício	Ferro	Manganês	Cobre	Zinco
Especificado	0,6 (max)	0,7 (máx)	1,0 ~ 1,5	0,05 ~0,2	0,10
Nacional	0,03	0,21	1,27	0,11	0,017
Importado	0,23	0,6	1,12	0,14	0,015

Tabela 4. Composição Química das Placas extraída do certificado do fornecedor

Elementos	Encontrado (%)	
	Núcleo	CLAD
Cobre	0,29	0,009
Silício	0,06	10,0
Ferro	0,2	0,24
Manganês	0,9	0,009
Magnésio	0,2	1,4
Zinco	0,005	0,01
Alumínio	Restante	Restante

3.2 Ensaio de Dureza Vickers

O resultado do ensaio de dureza das folhas está apresentado na Tabela 5. Nota-se que a dureza da folha importada, está muito próxima da folha nacional, ambas são H18, porém o fornecedor da importada não especifica se a mesma foi obtida pelo processo caster ou placa e nem o grau de redução, sofrido pelo material após processo de recozimento total. Também, pode-se observar uma caída acentuada da dureza quando a folha foi tratada termicamente na temperatura de 250°C, demonstrando que o material sofreu recristalização.

Tabela 5. Efeito do Tratamento térmico na dureza das folhas nacionais

Matéria-Prima	Nacional							Importada
	Sem trat.	210°C	220°C	230°C	240°C	250°C	270°C	Sem trat.
Dureza (HV 0,025)	62	57	55	53	49	37	36	66

3.3. Tamanho de Grão

O valor médio do tamanho do grão, antes e após do ciclo de brasagem, pode ser visto na Tabela 6, e a microestrutura correspondente após ciclo de brasagem pode ser vista na Figura 6.

Inicialmente comparando o tamanho e grão no estado como fornecidas a folha nacional estava com tamanho de grão muito grande e encruado na faixa de 670µm, enquanto na folha importada o tamanho de grão era tão pequeno, que não

foi possível ser medido pelo método de contagem de grãos. Quando as folhas passaram pelo ciclo de brasagem a situação ficou inversa, ou seja, a folha nacional ficou com o grão pequeno na faixa de 140µm, enquanto a folha importada teve um crescimento acentuado de grão (280µm). Quanto ao efeito do tratamento térmico feito nas folhas, o tamanho de grão maior encontrado após ciclo de brasagem foi nas folhas tratadas a 230°C e 240°C. Nos materiais tratados a 250°C e 270°C, aparentemente não havia energia suficiente para crescimento de grão na temperatura de brasagem, uma vez que já estavam parcialmente recristalizados, ou seja, admite-se que necessitariam de maior tempo na temperatura para o crescimento de grão. Nota-se também que o tamanho de grão não teve alteração entre a condição da folha nacional como recebida e nas tratadas a 210°C, 220°C, 230°C e 240°C, demonstrando que nessas temperaturas não aconteceu recristalização significativa, sendo que nas temperaturas de 250°C e 270°C a microestrutura e tamanho de grão foi totalmente modificada, devido ao processo de recristalização. Assim sendo os tratamentos térmico feitos até à temperatura de 240°C podem ser chamados de recuperação.*

Tabela 6. Comparação do tamanho de grão antes e após ciclo de brasagem em folhas importada e nacional submetidas a tratamento térmico.

Matéria-Prima	Nacional							Importada
	Sem trat.	210°C	220°C	230°C	240°C	250°C	270°C	Sem trat.
Antes do ciclo de Brasagem (µm)	Grão encruado / deformado 670					Grão recristalizado 170		Não medido Grão muito fino
Após ciclo de Brasagem (µm)	140	200	193	220	240	195	164	280

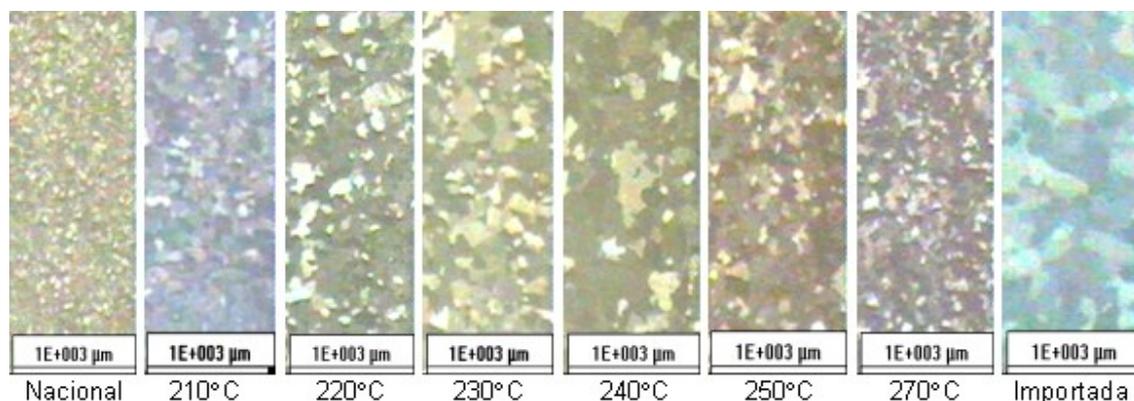


Figura 6. Tamanho de grão obtido após ciclo de brasagem em folhas importada e nacional submetida a distintos tratamentos térmicos.

* Recuperação é normalmente definida como restauração das propriedades físicas do metal trabalhado a frio sem que ocorra alguma mudança visível na microestrutura.

3.4 Propriedades Mecânicas e Efeito do Tratamento Térmico

De acordo com a Tabela 7, os materiais nacional e importado mostram, no estado de fornecimento H18, nível de encruamento tipicamente elevado, o que se revela tanto pela alta tensão de escoamento, que se aproxima da tensão máxima, como pelo reduzido percentual de alongamento. Nota-se acentuada queda nas propriedades de tração e escoamento das folhas tratadas a 250°C e 270°C, em virtude do processo de recristalização sofrido nessas temperaturas.

Tabela 7. Propriedades Mecânicas em folas importadas e nacional submetidas a tratamento térmico

Matéria-Prima	Nacional							Importada
	Sem trat.	210°C	220°C	230°C	240°C	250°C	270°C	Sem trat.
Escoamento (MPa)	199,3	167,2	165,2	152,6	97,88	53,60	43,31	212,1
Tração Máxima (MPa)	206,9	174,1	172,2	159,7	128,5	110,0	104,8	230,3
Alongamento (%)	1,50	1,50	1,60	1,90	5,64	14,43	13,79	1,93

3.5 Resultado do Teste de Resistência ao Sagging (Curvatura)

Os resultados da Tabela 8 mostram que os materiais mais duteis, com menor tensão de escoamento, obtiveram maior resistência ao sagging na temperatura de brasagem. O material nacional que ficou mais próximo do importado foi o tratado a 230°C e o de pior situação foi o material nacional como recebido, ou seja, sem tratamento térmico prévio.

Tabela 8. Resultados do Teste de sagging (curvatura)

Matéria-Prima	Nacional							Importada
	Sem trat.	210°C	220°C	230°C	240°C	250°C	270°C	Sem trat.
Deformação (mm)	62	63	65	68	72	71	72	69
Sagging	13	12	10	7	3	4	3	6

Medida de referência = 75 mm

3.6 Encolhimento do Trocador de Calor

O tratamento térmico feito no material nacional a 230°C foi o que acarretou em melhor resultado no processo de brasagem, ou seja, não encolheu nenhuma peça. Já o material tratado a 240°C, apesar de não ter peça encolhida, resultou em muita dificuldade no processo de fabricação das aletas, devido ter ficado muito dútil. Já para os materiais recristalizados, tratados a 250 e 270°C, não foi possível fazer a montagem dos trocadores, devido ao empastamento do material no processo de fabricação das aletas. Na Tabela 9 tem-se a porcentagem de encolhimento das 10 peças brasadas em cada situação da matéria – prima.

Tabela 9. Encolhimento de Peças após Brasagem

Matéria-Prima	Nacional							Importada
	Sem trat.	210°C	220°C	230°C	240°C	250°C	270°C	Sem trat.
% de Peças Encolhidas	30%	30%	20%	0%	0% ^{**}	*	*	0%

^{**} Dificuldade na montagem do trocador (aletamento)

* Não foi possível montar o trocador devido a folha estar muito dútil (empastamento).

3.7 Metalografia

Na Figura 7a mostra caso típico de aletas deformadas, montadas com o material nacional sem tratamento térmico, gerando encolhimento na peça. Na Figura 7b aparece a junta brasada formada pela interface aleta-placa, sem erosão significativa da aleta nessa interface. Isso indica que o mecanismo de erosão da aleta na interface com a placa não foi o principal motivo do encolhimento da peça. A Figura 8a mostra aletas brasadas com o material nacional, tratado a 230°C, onde nota-se que as aletas não estão deformadas. Na Figura 8b aparece a junta da interface aleta-placa, onde verifica-se que não existe erosão da aleta nessa região.

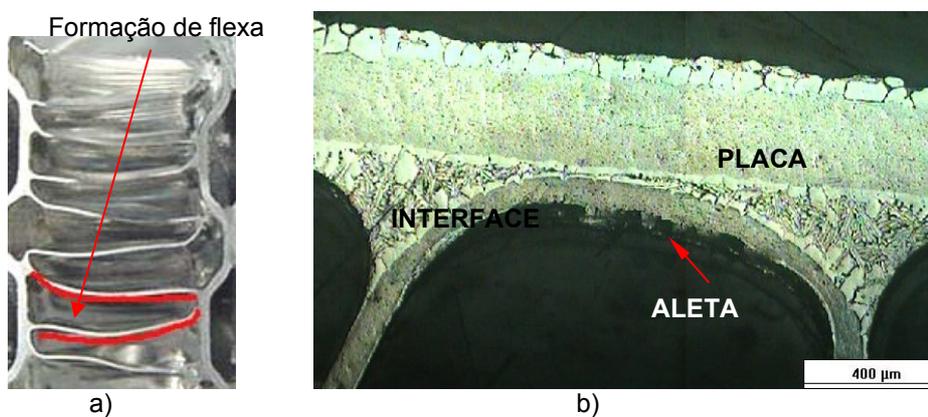


Figura 7. Aletas com folha nacional liga 3003, sem tratamento térmico

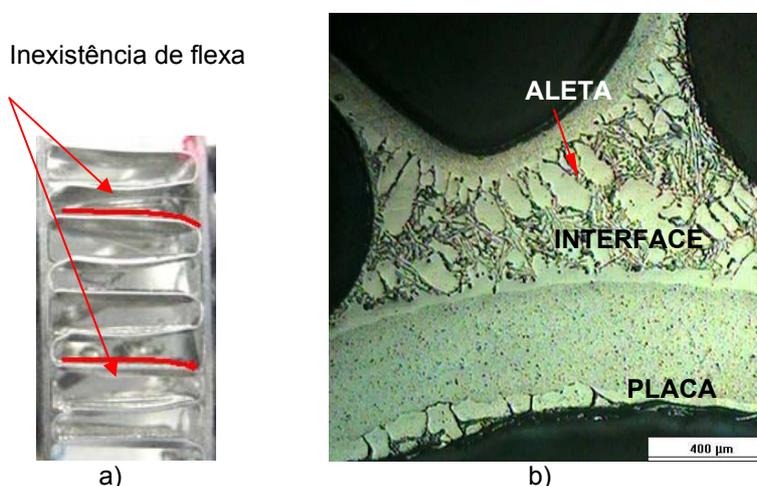


Figura 8. Aletas com folha nacional liga 3003, após o tratamento térmico

3.8 Resumo dos Resultados

O gráfico da Figura 9 mostra os resultados comparativos, mais significativos, obtidos nas folhas nacionais, comparados com a folha importada. Observa-se que a folha nacional tratada termicamente a 230°C, teve as propriedades de sagging, tamanho de grão após ciclo de brasagem mais próximas da importada.

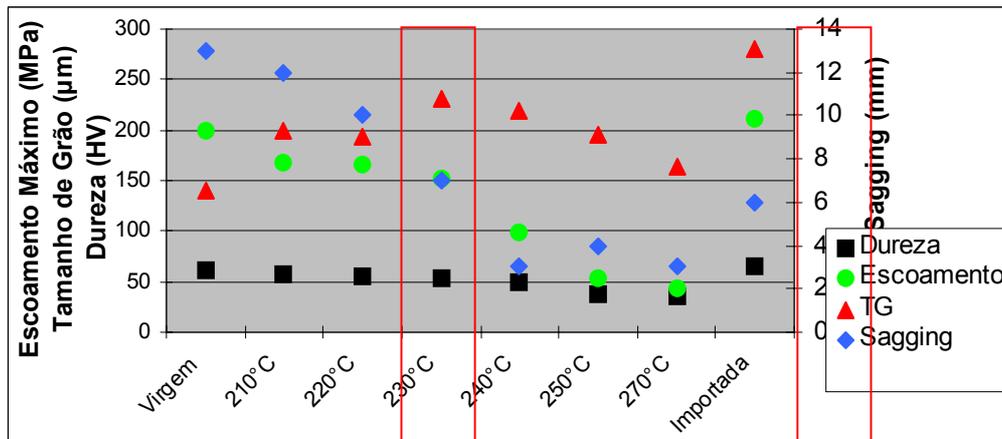


Figura 9. O gráfico mostra os resultados comparativos entre a folha nacional virgem e tratadas termicamente e a importada virgem.

4 CONCLUSÕES

1 – As folhas nacionais com menor grau de encruamento, apresentaram maior resistência ao Sagging ou seja menor formação de flexa/deformação na temperatura de brasagem;

2 – O tratamento térmico feito a 240°C, acarreta ótima resistência ao sagging e tamanho de grão maior, porém a tensão de escoamento ficou muito baixa, dificultando o processamento da matéria prima (folha) no processo de fabricação das aletas.

3 – Na temperatura de 250°C, o material recristaliza completamente, gerando alteração completa da microestrutura (tamanho de grão) e queda acentuada na tensão de escoamento e dureza.

4 – Até a temperatura de tratamento térmico de 240°C, o processo de recuperação da folha, prevaleceu sobre o processo de recristalização, tendo em vista que até essa temperatura a microestrutura ficou inalterada, ou seja, não aconteceu modificação do tamanho de grão do material original, somente alterações nas propriedades mecânicas.

5 – O tratamento térmico feito a 230°C foi o que permitiu melhor resultado no processo de brasagem, pois apresentou tamanho de grão, resistência ao sagging e tensão de escoamento mais próximo do importado e também não apresentou distorção do trocador (encolhimento) no processo de brasagem.

6 – O Nível de encruamento do material nacional como fornecido H18, e do importado estavam elevados e próximos um do outro, porém quando passaram pelo ciclo de brasagem tiveram comportamento totalmente diferentes, quanto ao tamanho de grão, demonstrando dessa forma que o nível de encruamento da matéria prima alto nem sempre resulta em tamanho de grão pequeno.

REFERÊNCIAS

- 1 Manual de Soldagem, Alumínio - ALCAN, 1º Edição, 1993.
- 2 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.
- 3 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.
- 4 REED, R.E-Hill; Princípios de Metalurgia Física, Ed. Guanabara Dois S.A, Rio de Janeiro, 1982.
- 5 PAULA, J.T; BORGES, P.C. Influência da Variável da Composição Química no Processo de Brasagem de folhas finas de Alumínio liga 3003. 59º Congresso Anual Internacional da ABM. São Paulo – SP, 07/2004.
- 6 SCHÖLIN, K; High Quality Aluminium Materials for Automotive Heat Exchangers, 10/1995.
- 7 DIETER, G.E, Metalurgica Mecânica, Ed. Guanabara Koogan S.A, Rio de Janeiro, 1981. 170p.
- 8 EMAIL KINOSHITA, Foil Aluminium Sagging Resistance, DNJP, 11/30/2005.
- 9 NBR 8310; Folhas de Alumínio e suas Ligas – Requisitos, 2001.
- 10 Norma ASTM nº. E92; Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials, 1999.
- 11 Norma interna DENSO DO BRASIL n.º M17; Method for Evaluating grain size of fin after brazing, 1980.

BIBLIOGRAFIA

- 1 KINOSHITA YOSHIHIRO, Evaporator Fin Material Localization DNJP Material R & D – Development Of Low Cost Material, 2000.
- 2 NBR 8308; Folhas de Alumínio e suas Ligas – Ensaio de Tração, 2000.
- 3 Metals Handbook; Metallography, Structures and Phase Diagrams, vol. 8, 8ª Edição, 1973.
- 4 COUTINHO, T.A; Análise e Prática da Metalografia de Não Ferrosos, 1980, Ed. Edgard Blücher Ltda, São Paulo.
- 5 Metals Handbook; Welding, Brazing and Soldering, vol.6, 9ª Edição, 1983.
- 6 A.A. SUSLOV, Vacuum Brazing of Aluminum – Alloy Heat Exchangers, Vestnik Mashinostroeniya, Vol.70, n.º 5, págs.37-38, 1990.
- 7 Guia Técnico do alumínio; Laminação vol.2 1ª Edição, São Paulo, 1994.
- 8 NBR 6834 – Alumínio e suas ligas – Classificação.
- 9 NBR 6835 – Alumínio e suas ligas – Classificação das Têmperas
- 10 COSTA VIANA, CS; Deformação, recristalização e textura – Apostila da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2001.
- 11 PADILHA, A F e Siciliano, F. Jr; Encruamento, Recristalização, Crescimento de grão e Textura, Ed. Estúdio J.I de Artes Gráficas S/C Ltda, São Paulo, 1996.
- 12 JIS Handbook, Non Ferrous Metals and Metallurgy, 1987”.
- 13 SHAISHO, S; TSURINO, A; SATO, F , Inspections of Alcoa’s material for MS evaporator – Aluminum & Copper Company KOBE STEEL, Ltda, 2002.