

LAMINAÇÃO EM UM E DOIS PASSES DA LIGA AA1100 PARA FABRICAÇÃO DE EVAPORADORES ROLL BOND

Fernando Frias da Costa, Kátia Regina Cardoso

UNIVAP – Universidade do Vale do Paraíba– FEAU, Av. Shishima Hifumi, 2911 – Urbanova – SJC -
ferfriascosta@hotmail.com, katiarc@univap.br

Resumo - A fabricação de evaporadores Roll Bond pode envolver duas diferentes práticas de laminação. A primeira envolve a redução da espessura da chapa por laminação a quente seguida de laminação a frio e posterior recozimento e é chamada de laminação em dois passes. Na segunda prática, a redução se dá apenas por laminação a quente seguida de recozimento, chamada de laminação em um passe. Este trabalho teve como objetivo um estudo das duas práticas para avaliar a possibilidade de otimização do processo de fabricação dos evaporados com conseqüente diminuição de custo. A liga de alumínio AA1100 após a laminação em um e em dois passes foi caracterizada microestruturalmente por microscopia ótica e teve sua distribuição do tamanho de grão avaliada em função do tipo da prática de laminação. A caracterização mecânica foi realizada por ensaios de microdureza Vickers e ensaios de tração. Os resultados mostram a viabilidade da prática de laminação em um passe para fabricação do produto em questão.

Palavras-chave: alumínio, laminação, evaporadores Roll Bond

Área do Conhecimento: Metalurgia

Introdução

O alumínio é atualmente o segundo metal mais consumido pela engenharia, ficando apenas atrás do ferro e do aço. Tal consumo é explicado pelas propriedades apresentadas por este material, que possui um favorável baixo peso específico e consegue, em algumas ligas, igualar a resistência mecânica dos aços estruturais. O alumínio traz vantagens consideráveis em algumas aplicações devido a sua boa condutividade térmica e elétrica, alta resistência à corrosão e aparência estética favorável.

A liga AA1100 é um alumínio comercialmente puro, não ligado, com pureza igual ou superior a 99% de Al, onde o Fe e Si são as principais impurezas. Esta liga é caracterizada pela excelente resistência à corrosão, alta condutibilidade térmica e elétrica, baixa resistência mecânica e elevada ductilidade. Dentre as aplicações estão equipamentos da indústria química; refletores; painéis decorativos para uso na construção civil; condutores elétricos e capacitores; embalagens (papel alumínio) e trocadores de calor, onde se encaixam os evaporadores, objeto deste estudo.

Evaporadores Roll Bond

Os evaporadores são trocadores de calor, e podem ser de diferentes tipos, dentre eles estão os evaporadores de contato. Atualmente são construídos em chapas de alumínio (liga especial),

porém no passado foram utilizados principalmente o cobre e o aço.

Os refrigeradores modernos, em sua grande maioria, utilizam evaporador de alumínio produzido pelo sistema Roll Bond. Em seu processo de fabricação são impressos canais em grafite no formato desejado em duas chapas de alumínio de liga AA1100. Faz-se então a união das chapas por caldeamento através de processo de laminação em dois passes, ou seja, laminação a quente seguida de laminação a frio (processo convencional), o caldeamento não ocorre nos pontos onde há grafite. Em seguida o material sofre um tratamento térmico de recozimento para alívio de tensões. Os canais impressos são expandidos sob uma pressão de até 150 bar, formando um circuito por onde, na aplicação do produto final, passará o gás refrigerante. Por último o material sofre operações de acabamento como, estampagem e pintura.

Considerações sobre a laminação do Alumínio

Laminação é um processo de transformação mecânica que consiste na redução da seção transversal do metal por meio de compressão e de tensões cisalhantes. Estas tensões são resultantes da fricção geradas pela passagem do metal entre cilindros com eixos paralelos, que giram em torno de si mesmos. Tal seção é regular e refere-se aos produtos laminados planos de alumínio e suas ligas, chapas ou folhas.

Embora qualquer liga trabalhável de alumínio possa ser laminada, existem ligas que oferecem uma ampla faixa de propriedades e que podem ser laminadas com a máxima eficiência, cada qual apresentando suas características individuais.

A laminação a quente é a etapa inicial do processo de laminação no qual o material é aquecido a uma temperatura em torno de 500°C, para que seja realizado o chamado desgaste das placas. É o processo onde se consegue grandes reduções de espessura e que o metal atinge uma temperatura mínima igual à temperatura de recristalização, aproximadamente 350°C. A ductilidade do metal em temperaturas desta ordem é máxima e ocorre a recristalização dinâmica na deformação plástica em alguns casos e condições.

A laminação a quente destrói completamente a estrutura bruta de fusão através da deformação a quente, da recristalização dinâmica e da recristalização estática, que permite o refino do grão. Entretanto, após a laminação, os grãos ficam alongados de acordo com a direção de laminação. (CHIAVERINI, VICENTE, 1986)

O conhecimento das modificações microestruturais e das condições de distribuição dos elementos de liga em função do ciclo de deformação a quente tem uma grande influência sobre as propriedades mecânicas do produto final. As principais características metalúrgicas afetadas são: tamanho de grão, textura, resistência mecânica, estabilidade térmica, tendência à recristalização, trabalhabilidade a frio e acabamento superficial. (ABAL, 2004)

A laminação a frio é um processo realizado em temperaturas bem inferiores àquelas da recristalização do alumínio, e é realizada após a etapa de laminação a quente quando se deseja produzir um metal com bom acabamento superficial e preciso controle dimensional. Este processo também confere ao material um aumento da resistência mecânica através do encruamento. Recozimentos podem ser realizados para amolecimento (recristalização) e para facilitar posteriores etapas de fabricação ou determinar têmperas específicas.

A laminação a frio pode produzir chapas com vários tipos de acabamento, desde acabamento comum (sem brilho reflexivo) até acabamento brilhante (espelhado ou polido). (CHIAVERINI, VICENTE, 1986)

Na fabricação de evaporadores pelo processo Roll Bond, a etapa de laminação é a mais importante e a mais cara. Atualmente o processo de produção envolve laminação a quente seguida de laminação a frio e tratamento térmico de recozimento, conhecido como laminação em 2 passes, porem devido as baixas exigências de acabamento superficial, precisão dimensional na espessura e resistência mecânica, este estudo

analisa as condições do material em apenas 1 passe de laminação a quente e tratamento térmico como alternativa para a produção de evaporadores Roll Bond.

O processo de laminação adotada deve conferir ao produto propriedades adequadas para posteriores etapas da produção, como estampagem e inflatação dos canais.

O processo de produção de evaporadores Roll Bond utilizada atualmente é lenta e envolve varias etapas, alem de um custo muito alto com equipamentos, principalmente laminadores. Por este motivo este produto tem perdido mercado para outros tipos de evaporadores com tecnologias de produção mais simples, mesmo este possuindo uma melhor eficiência térmica.

O objetivo deste trabalho é o estudo das propriedades do Alumínio de liga AA1100, utilizada para produção dos evaporadores Roll Bond na condição atual, ou seja, laminação em dois passes, e em laminação em apenas um passe, buscando redução dos custos da sua produção e otimização do processo de fabricação através da eliminação da necessidade do 2º passe de laminação, mantendo as condições exigidas ao material para a qualidade do produto final.

Metodologia

A liga de alumínio AA1100 foi laminada em laminadores do tipo quádruo: em 2 passes, ou seja, processo à quente e a frio, e em apenas 1 passe de laminação à quente.

Em ambas as práticas utilizou-se 2 chapas sobrepostas de 2,16 mm de espessura, totalizando 4,32 mm. As chapas foram submetidas a uma redução total de 74,5% da sua espessura inicial, chegando a 1,08 mm de espessura.

Antes da laminação a quente as chapas foram pré-aquecidas para tratamento de homogeneização a uma temperatura de 520 °C em um forno contínuo por um período de 17 minutos.

A redução nos cilindros de laminação a quente foi de 57,2 % para as amostras submetidas a laminação por 2 passes e de 74,5% para amostras de 1 passe. Já a laminação a frio foi realizada nas amostras que sofreram redução parcial de espessura na etapa de laminação a quente, 57,2%, chegando a uma redução final de 74,5% após o 2º passe de laminação que foi a frio.

Após a laminação, as peças foram submetidas a um tratamento térmico de recozimento em um forno tipo estacionário. A seqüência de recozimento foi a seguinte: 20 minutos a 580 °C, seguido por mais 40 minutos a 460°C e finalmente

2 horas a 360°C. Na seqüência, as peças foram retiradas do forno e resfriadas ao ar livre.

Durante o processo foram retiradas amostras de diferentes etapas da fabricação, após o tratamento de homogeneização, após a laminação a quente e após a laminação a frio. Mais 3 amostras de cada prática de laminação foram retiradas após os tratamentos térmicos de recozimento. As amostras analisadas estão relacionadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Denominação das amostras

Amostra	Descrição
H	Matéria-prima após tratamento de homogeneização
A	Matéria-prima somente laminada a quente
B	Matéria-prima laminada a quente e a frio
1.A 2.A 3.A	Matéria-prima laminada em 1 passe e tratada termicamente
1.B 2.B 3.B	Matéria-prima laminada em 2 passes e tratada termicamente

As amostras na condição final do produto, ou seja, laminadas em 1 ou 2 passes e tratadas termicamente, foram submetidas a ensaio de dureza em escala Vickers, com carga de 100 g e tempo de 10 segundos. As propriedades mecânicas básicas de limite de escoamento (LE), resistência (LR) e o alongamento percentual a 50 mm, foram determinadas através de ensaios de tração, conduzidos segundo a norma ABNT NBR

7549, e utilizando uma máquina de tração, modelo WPM - série 283/16.

Todas as amostras foram submetidas a análise metalográfica, utilizando-se dos procedimentos padrões de preparação de amostra, com lixamento na seqüência de lixas de granulometrias 100, 220, 400, 600, 1200 e polidas com alumina em granulometria de 0,3 µm e pó de Magnésio. O ataque utilizado foi o eletrolítico e foi realizado nas seguintes condições: cátodo de Alumínio com alto grau de pureza; eletrólito composto de 4,5 ml de ácido fluobórico e 200 ml de água destilada, voltagem de 9,8 volts e duração de 4 minutos. Microscopia óptica com luz polarizada foi utilizada para revelação da estrutura dos grãos.

A composição química da liga utilizada na pesquisa foi verificada por espectroscopia por energia dispersiva (EDS).

Resultados

Composição química

A composição química normatizada da liga estudada segundo norma ABNT NBR 6834 é apresentada na Tabela 2.

A Tabela 3 apresenta o resultado da análise química realizada por espectroscopia por energia dispersiva (EDS), da liga estudada.

Tabela 2 - Composição química normatizada da liga AA1100 (% em peso)

	Fe+Si	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	B	Ga	Ni	V	Ti	Outros	Al
Max.	0	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99
Min.	0,95	0,2	0,05	0,1	7	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,15	100

Tabela 3 - Composição química das amostras ensaiadas (% em peso)

Fe+Si	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	B	Ga	Ni	V	Ti	Outros	Al
0,52	0,14	0,01	0	0	0,01	0	0,01	0	0,01	0,02	0,04	99

Dureza

A Tabela 4 apresenta os resultados dos ensaios de dureza em escala Vickers, obtidos da média aritmética de 4 pontos de dureza, distribuídos ao longo da amostra.

Tabela 4 – Durezas obtidas

Amostra	Dureza (HV)	Média (HV)
1.A	28	28,3
2.A	28	
3.A	29	
1.B	29	30,3
2.B	31	
3.B	31	

Microestrutura

A Figura 1 apresenta a micrografia do alumínio AA1100 em microscópio óptico (MO) com luz polarizada, antes dos passes de laminação, (amostra H), porém já submetida ao tratamento térmico de homogeneização. (ABAL, 2003)

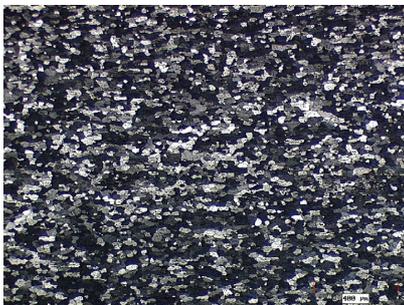


Figura 1 – Microestrutura mostrando a estrutura do Alumínio liga AA1100, como é recebido (matéria-prima), após tratamento térmico de homogeneização, e antes do processo de laminação, aumento de 50X.

Na Figura 2 e Figura 3, são apresentadas as micrografias das amostras A e B em microscópio óptico (MO) com luz polarizada, que foram analisadas após os processos de laminação em 1 passe e 2 passes sem serem submetidas a etapa de tratamento térmico de recozimento.



Figura 2 – Micrografia mostrando a estrutura do Alumínio liga AA1100, após laminação a quente (1 passe) antes do processo de tratamento térmico, aumento de 50X.

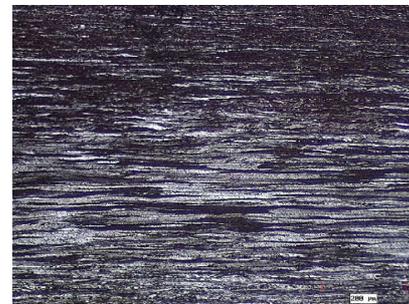


Figura 3 – Micrografia mostrando a estrutura do Alumínio liga AA1100, após laminação a quente e a frio (2 passes), antes do processo de tratamento térmico, aumento de 50X

A Figura 4 e Figura 5 apresentam as micrografias obtidas em microscópio óptico (MO) com luz polarizada das amostras laminadas em apenas um passe e tratadas termicamente (1A, 2A e 3A) e laminadas em dois passes e tratadas termicamente (1B, 2B e 2B), respectivamente.

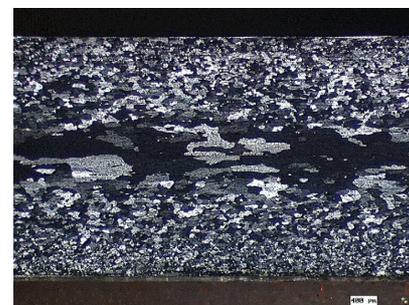


Figura 4 – Micrografia mostrando a estrutura do Alumínio liga AA1100, após laminação a quente (1 passe) e tratamento térmico, aumento de 50X

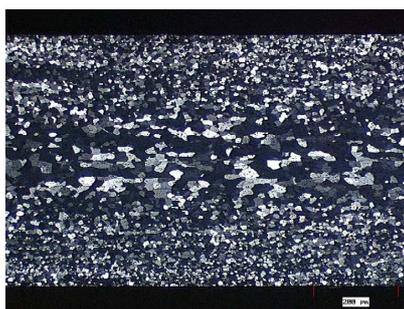


Figura 5 – Micrografia mostrando a estrutura do Alumínio liga AA1100, após laminação a quente e a frio (2 passes) e tratamento térmico, aumento de 50X

Propriedades em tração

A partir de ensaios de tração foram determinados o limite de escoamento (LE), o limite de resistência à tração (LR) e o alongamento percentual em “50 mm” (ΔL). Os resultados são mostrados na Tabela 5. Por conveniência, cada propriedade é apresentada na forma de um valor médio (média aritmética) dos resultados de 3 ensaios. (ABNT NBR 7549, 2008)

A Tabela 6, apresenta as propriedades em tração normalizadas para liga nas condições de tempera estudada. (ABNT NBR 7823, 2007)

Tabela 5 – Propriedades em tração

Amostra	L.E (MPa)	L.R (MPa)	ΔL (%)
1.A / 2.A / 3.A	30,2	84,6	32,75
1.B / 2.B / 3.B	44,7	101	31,45

Tabela – Propriedades em tração normalizada

L.R (MPa) Mín.	L.R (MPa) Máx	L.E (MPa) Mín.	ΔL (%) “50mm” Mín.
75	105	25	22

Discussão

Em relação à composição química, a liga utilizada neste trabalho classifica-se como liga de alumínio AA1100, pois apresentou composição dentro dos limites normalizados para este material. Ao analisar a Tabela 3, observa-se que o Fe e o Si são os elementos químicos em maiores quantidades como elementos de liga na matriz de Al. Além destes elementos o Cu é o elemento que possui uma quantidade representativa.

Analisando-se a Tabela 4, pode-se notar que em média as durezas obtidas nas amostras laminadas em 2 passes foram maiores que as amostras que sofreram apenas um passe, porém os valores apresentados nas duas condições foram bem próximos e ambos atendem a especificação de dureza para a liga AA1100 após tratamento térmico de recozimento, condição chamada O. (ASM METALS HANDBOOK, 1990) (ABNT NBR 7823, 2007).

A amostra após o tratamento térmico de homogeneização apresenta microestrutura típica desta condição, com grãos totalmente recristalizados e sem sinais de deformação residual oriunda do seu processo de obtenção, processo Direct Chill. (CHIAVERINI, VICENTE, 1986)

A amostra laminada em dois passes de laminação (Figura 3) apresenta grãos alongados no sentido da laminação, e um maior encruamento do material, característica do processo de laminação a frio que exerce um maior esforço sobre o material para a sua deformação. Já o material laminado somente a quente (Figura 2), apresenta um grau de encruamento menor, devido ao menor esforço necessário para a sua deformação devido a temperatura em que a chapa é laminada. Apesar das diferenças nas deformações entre as amostras, ambas apresentaram grãos alongados no sentido de laminação, maiores no centro do que nas extremidades. Em ambas as figuras, se observa uma distribuição heterogênea de tamanho de grãos entre o centro, onde o grau de deformação é menor, e a superfície da peça.

Após o tratamento térmico de recozimento a amostra laminada em apenas um passe apresenta grãos alongados no sentido de laminação na região central da amostra e que são maiores que os da amostra laminada em dois passes, Figuras 4 e 5. O material laminado somente em um passe e tratado termicamente (Figura 4), apresentou deformação residual oriunda do processo de laminação a quente, não eliminados totalmente no processo de tratamento térmico para alívio de tensões e recristalização.

A amostra laminada em dois passes apresentou uma diferença entre os tamanhos dos grãos da região central e extremidades, menor que a amostra laminada em apenas um passe.

Observou-se que o percentual de alongamento foi pouco afetado pela variação da prática de laminação adotada (1 passe ou 2 passes). O limite de resistência à tração (L.R), apresentou valores 19,4% maiores nas amostras laminadas em 2 passes (1.B / 2.B / 3.B), bem como o limite de escoamento (L.E), que foi 48,0% maior com esta pratica de laminação.

Confrontando os valores obtidos nas amostras, (Tabela 5) com os valores normalizados, (Tabela 6), observou-se que os valores esperados de limite de resistência para esta liga estão entre 75 e 105 MPa, e os valores obtidos em ambas as práticas de laminação, 1 passe e 2 passes, estão dentro destes limites. O mesmo aconteceu com os valores obtidos de limite de escoamento, que apresenta somente normalizado um valor mínimo de 25 MPa, e os valores obtidos foram todos acima deste valor, 30,2 MPa (1 passe) e 44,7 MPa (2 passes). Os valores de percentual de alongamento (ΔL), obtidos nas amostras, (Tabela 5) ficaram todos acima dos valores normalizados para esta propriedade, (Tabela 6) que é de no mínimo 22 %.(ABNT NBR 7823, 2007)

Conclusão

A análise por espectroscopia por energia dispersiva (EDS) da liga estudada, apresentou composição dentro dos limites normalizados para a liga AA1100.

A dureza média apresentada nas amostras laminadas em 2 passes foi de 30,3 HV, e as laminadas em 1 passe foi de 28,3 HV, e ambos se classificam dentro da mesma tempera, do tipo "O", recozida.

Em análise micrográfica a matéria prima estudada apresentou características microestruturais compatíveis com processo de homogeneização após passar por aquecimento antes do processo de laminação. Já as amostras laminadas em 1 passe sem recozimento apresentaram um grau de encruamento menor que as laminadas em 2 passes na mesma condição. Porém em ambas se observou uma diferença entre a estrutura central e superficial das amostras.

As amostras analisadas na condição final de laminação e tratamento térmico apresentaram uma distribuição heterogênea de tamanhos de grãos entre o centro e a superfície da peça, menos acentuada nas amostras laminadas em 2 passes.

As propriedades em tração apresentados pelas amostras foram maiores para a amostra laminada em 2 passes, porém ambas ficaram nos limites normalizados da liga em questão.

Levando em consideração os testes realizados, podemos concluir que a aplicação da prática de laminação em apenas um passe é viável para a produção de evaporadores Roll Bond, pois os resultados mostraram que ambas as práticas de laminação, mantiveram a liga de Alumínio AA1100 dentro dos limites esperados para esta mesma liga e tempera, atendendo as exigências requeridas do produto em questão.

Referências

- ABAL – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO. Guia Técnico do Alumínio: Laminação, 2ª edição, Vol.2, SP, 2004. (ABAL, 2004)
- ABAL – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO. Guia Técnico do Alumínio: Tratamentos térmicos, 1ª edição, SP, Vol.6, 2003. (ABAL, 2003)
- ASM METALS HANDBOOK, Vol 2, Properties and selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials, pg. 195, 10ª Edição, 1990. (ASM METALS HANDBOOK, 1990)
- ABNT NBR 7823, Alumínio e suas Ligas: - Chapas – Propriedades mecânicas, pág, 4 , 2ª Edição, 2007, (ABNT NBR 7823, 2007)
- ABNT NBR 6834, Alumínio e suas Ligas: - classificação composição química, pág, 1 -5 , 2ª Edição, 2006, (ABNT NBR 6834, 2006)
- ABNT NBR 7549, Alumínio e suas Ligas: - Produtos laminados , extrudados e fundidos – ensaio de tração, pág, 9 , 2ª Edição, 2008, (ABNT NBR 7549, 2008)
- CHIAVERINI, VICENTE.. Tecnologia Mecânica. Processos de Fabricação e tratamento. 2ª. edição. Vol.2. SP: McGraw-Hill, 1986. (CHIAVERINI, VICENTE, 1986)