

DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E CARACTERÍSTICAS METALGRÁFICAS DAS BOBINAS LIGA DE ALUMÍNIO AA3104-H19 ⁽¹⁾

Thiago Vieira Ferri ⁽²⁾
Pedro Henrique Costa Pereira da Cunha ⁽³⁾
Carlos Raimundo Frick Ferreira ⁽⁴⁾
Jaime Spim Junior ⁽⁵⁾

Resumo

Com a crescente demanda dos fabricantes de lata para minimizar defeitos e aumentar a produtividade, intensificaram-se as pesquisas sobre as propriedades de ligas de alumínio usadas para esse fim. Este trabalho demonstra a importância em controlar as orelhas, as propriedades mecânicas, a forma, a isotropia e espessura das bobinas para que o processamento das latas possa apresentar baixo índice de refugo. A variabilidade das propriedades mecânicas (tensão de escoamento, deformação, tensão de ruptura e o coeficiente de encruamento) ao longo da bobina parece ser o principal parâmetro de influência na produtividade das latas. Neste trabalho foram coletadas amostras da região do início, do meio e do fim de bobinas da liga AA 3104-H19. A curva tensão versus deformação das amostras ensaiada foi comparada com a respectiva macro e microestrutura. Os resultados indicam uma forte anisotropia nas propriedades mecânicas e metalúrgicas das bobinas, tanto na direção transversal como na direção longitudinal ao sentido de laminação da bobina.

Palavras-chaves: ligaAA3104-H19, caracterização mecânica e metalúrgica

⁽¹⁾ Trabalho a ser apresentado no 5º Enemet

⁽²⁾ Aluno IC, LAFUN/UFRGS

⁽³⁾ Aluno IC, LAFUN/UFRGS

⁽⁴⁾ Engenheiro LAFUN/UFRGS

⁽⁵⁾ Professor Adjunto LAFUN/UFRGS

Apresentação do Trabalho

O atual estágio de aplicação dos materiais, em particular, dos metais e suas ligas permite que, cada vez mais, o homem usufrua as facilidades que este avanço tecnológico proporciona. Temas como otimização e novas aplicações para as ligas metálicas estão inseridas neste contexto, onde são alvos de constante estudo em metalurgia. O desenvolvimento destes materiais não deve ser encarado como uma tarefa simples, requer um profundo conhecimento do processo de fabricação (fundição, tratamentos térmicos, conformação mecânica, entre outros), e das características resultantes destes, como as propriedades mecânicas e metalúrgicas.

Um exemplo típico de melhoria tecnológica é a aplicação do alumínio e suas ligas como material para embalar e conservar alimentos e bebidas que apresentam características essenciais tais como: Impermeabilidade e opacidade, que impedem a passagem de luz, oxigênio e umidade, resistência à corrosão, facilidade de dobramentos, qualidade oferecida à impressão.

O processo metalúrgico para obtenção da liga e os processos mecânicos de confecção das latas de alumínio são complexos e exigem alto grau de conhecimento técnico, o processo inicial é a solidificação – ou lingotamento - de maneira semicontínua, processo *Direct Chill*, após a fundição o material é recozido, laminado a quente e laminado a frio para se produzir uma bobina com espessura de chapa adequada para os processos seguintes. A fabricação da lata utiliza processos de estampagem profunda, *Deep Drawing*, e estiramento, *Ironing*.

O presente projeto de pesquisa tem a intenção de produzir conhecimento sobre as propriedades deste material, AA3104, e os processos envolvidos na produção de embalagens destinadas à fabricação de latas, já que, sendo o Brasil o segundo produtor mundial de latas, a pesquisa com este tipo de material é pequena e o conhecimento teórico é essencialmente produzido em pesquisas nos países do primeiro mundo.

Objetivos

Este trabalho tem como objetivo analisar aspectos ligados à liga AA 3104, como sua caracterização mecânica e metalúrgica e fazer um levantamento teórico-experimental sobre as propriedades, fases e estruturas encontradas e condições de aplicação deste material.

Revisão bibliográfica

Características químicas, físicas e mecânicas da família AA 3104 H19

O recozimento para solubilização e a etapa de laminação apresentam forte influência sobre as propriedades mecânicas finais do material. A alta resistência mecânica adquirida pelas ligas da família AA 3104H19 é adquirida durante a etapa de laminação a frio, onde o material é submetido a um alto grau de encruamento, onde o H19 indica dureza extra, na tabela 1 são dados alguns dados mecânicos da liga 3104. De forma geral pode-se afirmar que devido ao processamento mecânico, com reduções por volta de 88% durante a laminação a frio, o material pode ser considerado como possuindo comportamento frágil, porém adequado para a utilização em processos de *Drawing* e *Ironing*, utilizados na fabricação da latas de alumínio.

Tabela 1. Propriedades Mecânicas da liga AA 3004 com Diferentes Graus de Encruamento/Endurecimento e da liga AA 3104 H19 [ASM Handbook], [Sven 2000] e [Hatch].

	Limite Resistência à Tração (MPa)	Limite de escoamento (MPa)	Módulo de Young (GPa)
AA 3104 H19	290	260	68,95

Processos para a fabricação das latas

Sistema Direct Chill: O lingotamento da liga AA3104 é feito em sistema semicontínuo, *Direct Chill* (DC). O processo é iniciado com o preenchimento de um molde de alumínio com refrigeração lateral e fundo falso, após a formação da primeira casca sólida, o fundo é deslocado com velocidade constante e a piscina de metal líquido é alimentada para garantir um nível constante. A figura 5 mostra um desenho esquemático do sistema DC.

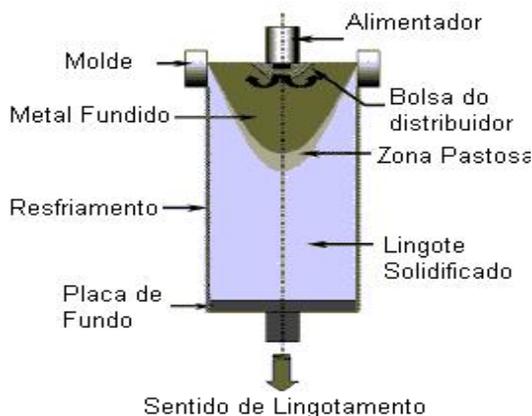


Figura 5: Esquema do sistema de lingotamento *Direct Chill*. [Adaptado de Sengupta, 2002].

Nesta primeira fase de produção já surgem problemas comuns em processos de solidificação-fundição, podendo ocorrer defeitos como gota fria, trincas resultantes de contração e, em casos extremos, rompimento do lingote. O problema de macrosegregação que ocorre pode causar a não uniformidade das propriedades mecânicas do material e problemas nas etapas subseqüentes de processamento. Esta macrosegregação é originada através do movimento relativo de elementos de liga na zona pastosa, ou seja, ocorre durante o intervalo de solidificação.

A porosidade é outro fator de problemas em sistemas de lingotamento, apesar do efeito do processamento mecânico, a porosidade resultante do processo de solidificação não é inteiramente removida nas chapas produzidas a partir dos

lingotes solidificados, e esta porosidade pode provocar uma perda nas propriedades mecânicas do material.

Após a laminação a quente e a frio, as bobinas produzidas são utilizadas para os processo de estampagem profunda Deep Drawing, e estiramento, Ironing. A seqüência do processo de estampagem está representada na figura 6, com os produtos em seqüência até a obtenção da latinha sem pintura.



Figura 6: Representa a seqüência de etapas de produtos na Estampagem das latas de alumínio até a obtenção da latinha sem pintura.

Métodos e material utilizado:

Para a caracterização mecânica: Os corpos de prova usados foram retirados no início, meio e fim das bobinas na região à esquerda, no centro e à direita e nas direções cristalográficas de 0°, 45° e 90° graus em relação a direção de laminação. O ensaio conforme ilustra a figura 7, foi realizado em uma máquina universal, marca EMIC, modelo DL500, com um célula de carga de 500 kgf.

Após isso, um sistema de software converte os pontos obtidos em uma curvas de tensão de engenharia versus deformação de engenharia.

Com a curva real, que considera a variação da área durante o ensaio realizado, é aplicado o logaritmo no eixo da ordenadas na tensão e no eixo das abscissa na deformação, a partir da tensão de escoamento e através da equação 3 é retirado o valor do coeficiente de encruamento (η) de resistência (k) do material.

A equação 1, representa a fórmula de convenção para a deformação real (ϵ_r), na qual considera a variação da área durante o ensaio de tração

$$\epsilon_r = \ln S_0/S \quad (1)$$

A equação 2, representa a fórmula para convenção da tensão convencional (σ_c) para tensão real (σ_r).

$$\sigma_r = \sigma_c.(1+ \epsilon_c) \quad (2)$$

A equação 3 representa a reta do gráfico da figura 9, e a fórmula para obtenção do coeficiente de encruamento (η) e de resistência (K).

$$\log(\sigma_r) = \log K + n \cdot \log(\epsilon_r) \quad (3)$$

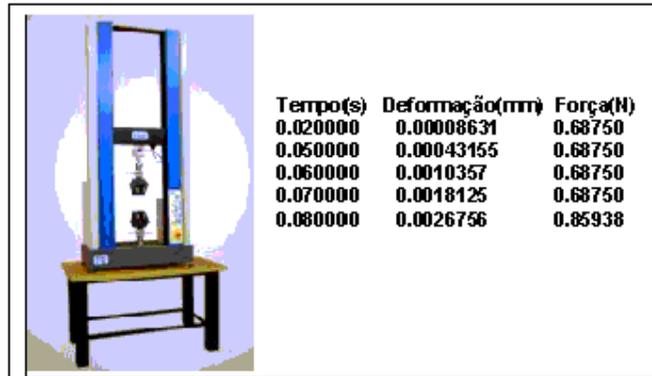


Figura 7: Foto da máquina de tração universal com alguns dados ilustrativos obtidos que após são convertidos em gráficos conforme os gráficos das figuras 8 e 9.

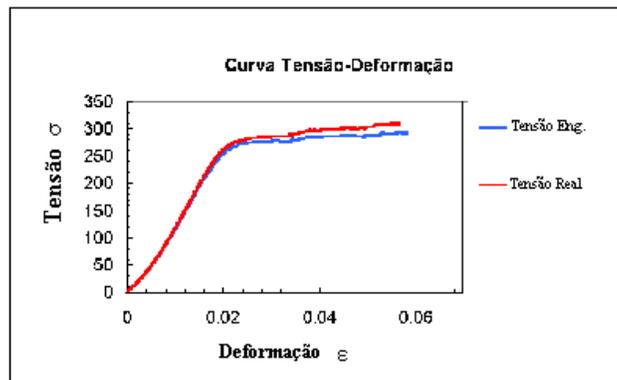


Figura 8: Gráfico demonstrativo teórico, de tensão convencional (de engenharia) e tensão real.

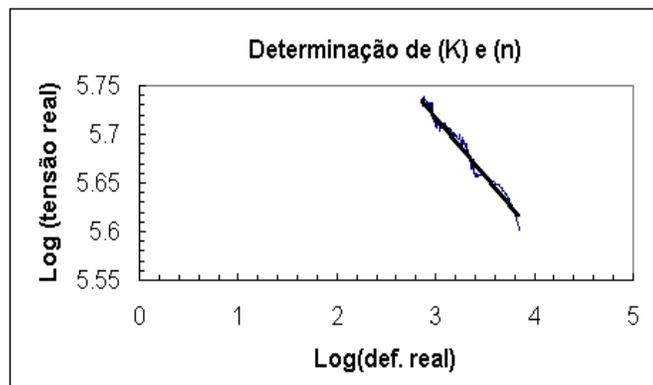


Figura 9: Gráfico demonstrativo teórico, retirado do gráfico da fig. 8 na curva de tensão real, a partir da tensão de escoamento, onde se retira o coeficiente de encruamento (inclinação da reta) e o coeficiente de resistência, valor onde corta o eixo das ordenadas.

Para a caracterização metalúrgica: Na análise microestrutural preliminar das latas produzidas pela REXAM, as amostras foram embutidas a frio, atacadas quimicamente para posterior observação metalográfica. Para tanto, foi selecionada uma bobina específica produzida pela ALCAN, a qual apresentou o melhor desempenho em termos de produtividade e minimização de defeitos inerentes ao processamento mecânico. Nessa bobina foram retirados corpos de prova da: bobina fornecida para a REXAM sendo o material retirado na região do meio da bobina, em copos após a primeira etapa de corte e embutimento na *Minster*, na lata depois da passagem pelas *Body-Makers* e estiramento. Também foram analisadas amostras retiradas ao longo da seção transversal de uma lata produzida, sendo que com essas amostras foi montado um perfil completo de toda a seção da lata, desde o topo até o fundo da lata.

O corte das amostras foi feito com o auxílio de uma retífica portátil fixada num torno de bancada, a refrigeração foi feita com álcool. Após a retirada, as amostras foram embutidas a frio, usando resina acrílica na proporção de dois para um, durante o tempo de 15 minutos, para a total cura da resina e posterior lixamento. O procedimento metalográfico foi padrão, utilizando-se lixas de carbetto de silício, na granulometria de 100#, 220#, 320#, 400#, 600# e 1200# mesh, rotacionando os corpos de prova a 90° em relação ao sentido de lixamento anterior, utilizando água como líquido refrigerante.

Em seguida, procedemos com a etapa de polimento das amostras, foi utilizado pano de feltro para polimento inicial com pasta de diamante de seis microns, e polimento final com pasta de diamante de um micron até a obtenção de uma superfície adequada para a realização do ataque químico. Após o polimento, a amostra foi limpa com álcool para a retirada dos resíduos abrasivos e a seguir, efetuou-se o ataque químico (Ácido clorídrico HCl = 75 ml , Ácido nítrico HNO₃ = 25 ml , Ácido Fluorídrico HF = 5 ml , H₂O = 25ml) para a revelação da microestrutura das amostras.

Resultados

Os resultados dos ensaios mecânicos demonstraram heterogeneidade nas propriedades mecânicas ao longo da bobina e estes estão correlacionados com a distribuição e morfologia dos precipitados observados através da análise metalográfica. No Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), foram identificados os seguintes precipitados : Al_x(Fe,Mn)Mg ; Al_x(Fe,Mn)Si ; Al_x(Fe,Mn)Si Al_x(Fe,Mn)SiMg.

Parte Metalográfica:

A figura 10, é ilustrativa de modo a elucidar a região na qual foram analisadas as metalografias

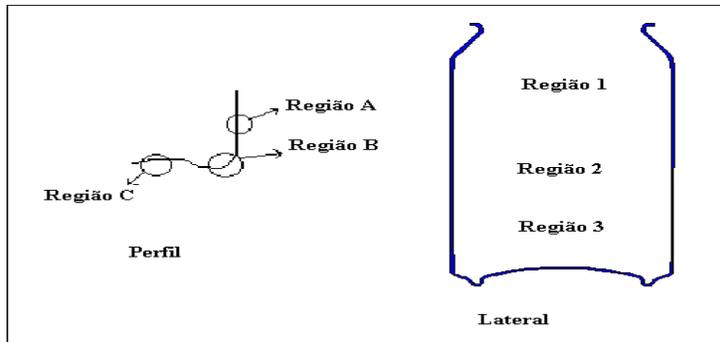
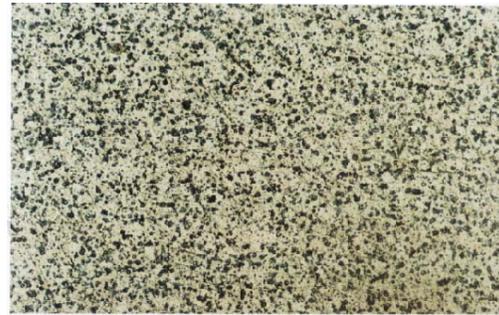


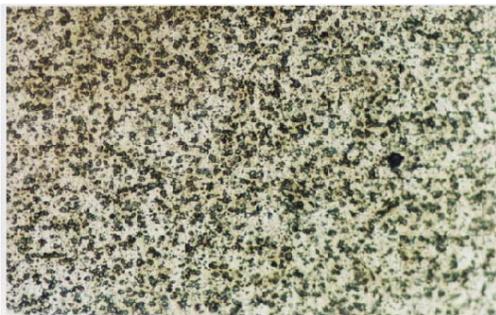
Figura 10. Ilustração das regiões da lata para metalografia



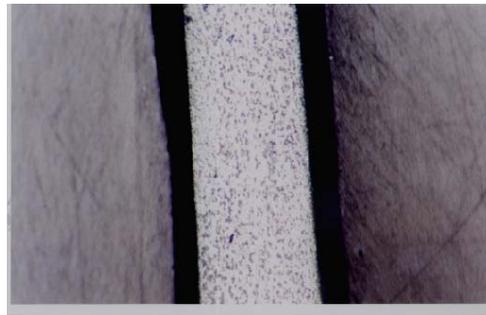
Metalografia da bobina, aumento de 100x



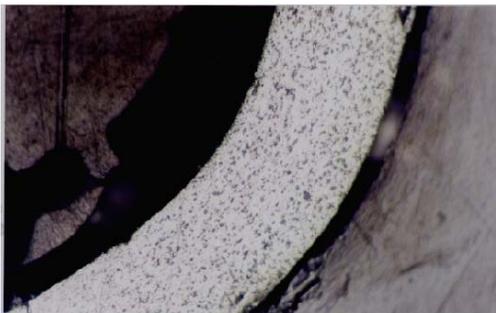
Metalografia da lata região 1, aumento de 100x



Metalografia da lata região 2, aumento de 100x



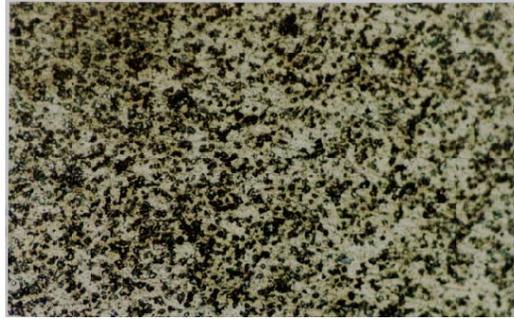
Metalografia da lata região 3A, aumento de 100x



Metalografia da lata região 3B, aumento de 100x



Metalografia da lata região 3C, aumento de 100x



Metalografia do fundo da lata região 4, aumento de 100x

Parte Mecânica:

A tabela 2 representa de um modo sucinto algumas características que foram obtidas nas 10 bobinas analisadas, onde foram comparadas suas propriedades mecânicas com relação a bobina considerada padrão.

Os dados foram reduzidos no valor de média em virtude da grande quantidade de informações que se obteve.

Tabela 2: Representação da região de início, meio, e fim da bobina, em cada região dividida em esquerda, meio e direita.

Início															
Esquerda				Meio				direita							
		[MPa]	[Ksi]			[MPa]	[Ksi]			[MPa]	[Ksi]				
MÉDIA	N	0,107	0,007			n	0,109	0,003			N	0,113	0,008		
	k	603,86	3,21	87,58	0,46	k	605,44	2,26	87,81	0,33	K	606,51	3,99	87,96	0,58
	σ_e	260,47	6,51	37,78	0,94	σ_e	271,40	3,59	39,36	0,52	σ_e	268,13	6,59	38,89	0,96
	σ_u	293,54	3,72	42,57	0,54	σ_u	296,08	5,00	42,94	0,72	σ_u	294,25	5,78	42,68	0,84
	Spread	33,07		4,80		Spread	24,68		3,58		Spread	26,12		3,79	
Meio															
Esquerda				Meio				direita							
		[MPa]	[Ksi]			[MPa]	[Ksi]			[MPa]	[Ksi]				
MÉDIA	N	0,107	0,001			n	0,112	0,003			N	0,109	0,001		
	k	601,75	3,45	87,27	0,50	k	605,12	3,28	87,76	0,48	K	603,07	4,03	87,46	0,59
	σ_e	263,77	6,15	38,26	0,89	σ_e	267,84	6,39	38,85	0,93	σ_e	266,29	7,62	38,62	1,11
	σ_u	287,45	5,70	41,69	0,83	σ_u	292,15	2,86	42,37	0,42	σ_u	291,53	4,85	42,28	0,70
	Spread	23,68		3,43		Spread	24,31		3,53		Spread	25,24		3,66	
Fim															
Esquerda				Meio				direita							
		[MPa]	[Ksi]			[MPa]	[Ksi]			[MPa]	[Ksi]				
MÉDIA	N	0,110	0,006			n	0,112	0,001			N	0,113	0,006		
	K	603,68	1,55	87,55	0,22	k	604,77	3,12	87,71	0,45	K	604,38	4,51	87,65	0,65
	σ_e	268,45	6,17	38,93	0,90	σ_e	265,48	4,29	38,50	0,62	σ_e	267,59	5,61	38,81	0,81
	σ_u	290,45	3,90	42,12	0,57	σ_u	292,82	2,90	42,47	0,42	σ_u	289,82	3,52	42,03	0,51
	Spread	22,00		3,19		Spread	27,33		3,96		Spread	22,23		3,22	

Discussão

Os resultados obtidos com relação a formação de precipitados correspondem com a literatura, sendo os mecanismos de formação dos compostos intermetálicos na solidificação fundamentais no comportamento mecânico da bobina.

O elemento Fe é reconhecido por promover a formação de partículas constituintes eutéticas as quais influenciam a textura cristalográfica e a recristalização durante a fabricação da bobina. A disposição microestrutural do Si tem grande influência na formação dos compostos intermetálicos.

Conclusão

A anisotropia do material é a causa principal do orelhamento durante o processo de fabricação das latas ocasionado perda de material.

As propriedades mecânicas e os precipitados observados são diferentes ao longo da bobina e estão diretamente correlacionados. A distribuição e a morfologia dos precipitados estão diretamente relacionados com o coeficiente de encruamento, estes dois parâmetros são equivalentes nas diferentes regiões da bobina, comprovando a necessidade de controle otimizado no processo de fabricação das latas.

Agradecimentos

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul (**UFRGS**) e ao Laboratório de Fundição (LAFUN) em especial ao orientador Prof Dr. Jaime Álvares Spim Junior, aos Co-autores: Pedro Henrique Costa Pereira da Cunha, MSc. Eng. Sérgio Eglan Silveira Netto, Eng. Wilson Fogazzi da Silva Junior, MSc. Eng. Carlos Raimundo Frick Ferreira e a toda a equipe do LAFUN e a equipe do Laboratório de Transformação Mecânica que esteve envolvida e colaborou com o projeto citado.

Referências bibliográficas de apoio

BAILEY, A.R. & Samuels, L.E., "Foundry Metallography", Metallurgical Services Betchworth, Surrey-England, 1971.

METALS HANDBOOK – "Metallography, Structures and Phase Diagrams", v. 8, 8th Ed., ASM.

ATLAS FOR METALS DAMAGE – Wolfe Publishing Ltd. , London.

SOLIDIFICATION CHARACTERISTICS OF ALUMINIUM ALLOYS – AFS Publication, v. 3, Dendrite Coherency, AFS.1996.

SOLIDIFICATION CHARACTERISTICS OF ALUMINIUM ALLOYS – AFS Publication, v. 2, Foundry Alloys, AFS.1996.

ASM International, Guide to Engineering Materials. Advanced Materials and Process. December, (2001).

ASTM E 3–95, Practice for Preparation of Metallographic Specimens, (1980).

ASTM E 7-80, Terminology Relating Metallographic, (1980).

ASTM E 407-95, Practice for Microetching Metals and Alloys, (1995).

ASTM E 112-96, Standard Test Methods for Determining Average Grain Size, (1996).

ASTM E 1382-91, Standard Test Methods for Determining Average Grain Size Using Semiautomatic and Automatic Image Analysis, (1991).