



ESTUDO MICROESTRUTURAL DE LATAS DE ALUMÍNIO RECICLADAS COM FÁCIL FUNDIÇÃO EM FORNO DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA COM ADIÇÕES DE ELEMENTOS DE LIGA E TRATAMENTO TÉRMICO T6

Murilo N. Pitta¹, Christiano A. Facchini¹, Raul G. Santos¹, Ricardo O. Sulato¹, Rafael O. Chang¹, Gilberto V. Prandi², Roberto N. Duarte¹, Renato C. Souza¹

1 – Engenharia de Controle e Automação (ECA), Instituto Federal de São Paulo (IFSP). Av Marginal 585 Fazenda Nossa Senhora Aparecida do Jaguari, São João da Boa Vista, CEP 13871-298, SP.

2 – Laboratório de Metalurgia Física, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, SP

rafael.chang@aluno.ifsp.edu.br

RESUMO

Desde sua descoberta o alumínio metálico puro, é protagonista em diversas nações devido à sua grande diversidade de aplicações e por ser o metal mais abundante em todo o mundo. Sua reciclagem apresenta em relação ao custo de produção primária de 80-85% por tonelada, economia de 95% de energia elétrica, redução de eliminação de resíduos no meio ambiente de 90%, redução de emissão de gases do efeito estufa de 90%, além de ser considerado ecologicamente correto. Com base no exposto, o qual aponta um vasto mercado de atuação e benefícios socioambientais, o presente projeto objetiva estudar e obter características microestruturais de latas de alumínio recicladas com fundição em forno de resistência elétrica com adição de elementos de liga, a fim de atrelar valor agregado e ampliar espectro de aplicação do produto reciclado. Para tal, fundiram-se latas de alumínio em forno de resistência elétrica controlado obtendo-se o corpo de prova (cdp) de alumínio (Al) reciclado. Com o restante de material reciclado realizou-se adição de elementos de liga cobre (Cu) e silício (Si) e tratamento térmico T6, que consiste em processo de solubilização em forno à 520 °C durante 4h seguido de banho em balde d'água e envelhecimento artificial em forno à 180 °C durante 6h também seguido de banho em balde d'água. Assim formaram-se 2 novos cpd's compostos por: Al-3,8%Si-3%Cu e Al-3,8%Si-3%Cu T6. Para caracterização das ligas foram realizados os processos de análise de composição química, análise microestrutural e de microdureza nas ligas, que resultaram em microestruturas com precipitados, sendo a liga Al-3,8%Si-3%Cu, em relação à liga de Al reciclado, com maior quantidade de grãos e estrutura dendrítica. Já a liga tratada termicamente apresentou em sua superfície desenho de "escritas chinesas", além de, fragmentação e esferoidização das partículas de Si precipitadas. Em termos de dureza, a liga Al-3,8%Si-3%Cu registrou 43% de ganho em relação à liga de Al reciclado e a liga Al-3,8%Si-3%Cu T6, também relacionada à dureza de Al reciclado, apresentou ganho de 76%. Deste modo, com os dados obtidos, é possível concluir a caracterização microestrutural dos materiais estudados atrelando valor agregado ao material com seu valor de dureza aumentado e ampliando seu espectro de aplicação de forma a apoiar prática sustentável.

Palavras-chave: Reciclagem, Latas de Alumínio, Tratamento térmico T6, Características microestruturais, Adição de elementos de liga.

INTRODUÇÃO

A história do alumínio é muito vasta, tendo raízes na Roma antiga, onde se empregava o alúmen de potássio, popularmente conhecido (pedra-ume) como mordente em tinturarias ⁽⁷⁾. A primeira obtenção do alumínio puro é atribuída ao dinamarquês Hans Christian Orsted em 1825. O nome alumínio foi atribuído a Humphrey Davy em 1827 ⁽⁸⁾.

O alumínio em sua forma metálica, isolado de outros elementos e presente em inúmeras aplicações desde latas de bebidas até peças de carros, foi descoberto neste formato, apesar de ser o metal mais abundante em todo o mundo, apenas no ano de 1886 com o primeiro processo de transformação do alumínio liderado pela companhia Alcoa. Há mais de 7 mil anos o material mais próximo a ser encontrado foi o óxido de alumínio (alumina), muito presente em vasos produzidos por ceramistas da Pérsia ⁽¹⁾.

Com a descoberta de sua nova forma, o alumínio começou a ganhar espaço no território nacional, assim como a sua reciclagem. Em 1920, através de reciclagem de sucatas importadas de outros países, deu-se início às primeiras produções de utensílios de alumínio no Brasil. Mais à frente, em 1990, iniciou-se a produção de latas e, assim, os volumes de reciclagem de alumínio só se intensificaram. A reciclagem de alumínio ganhou tanto peso no mercado nacional que em 2015 o país registrou 292,5 mil toneladas de latas de alumínio recicladas, dominando o consumo de embalagens no ano com 97,9% ⁽²⁾.

A fim de ampliar as aplicações e agregar valor as latas de alumínio recicladas, métodos alternativos à reciclagem convencional podem ser desenvolvidos, como os tratamentos térmicos ⁽³⁾. Além disso, a adição de ligas também pode ser capaz de alterar microestruturas do alumínio e gerar propriedades relevantes ao metal trazendo à ele novas aplicações e utilizações. De acordo com os processos e números apresentados sobre reciclagem, os quais apontam para um vasto mercado de atuação e benefícios socioambientais, o presente projeto objetiva estudar e obter características microestruturais de latas de alumínio com fácil fundição em forno de resistência elétrica com adições de elementos de liga, a fim de atrelar valor agregado e ampliar espectro de aplicação do produto reciclado.

MATERIAIS E MÉTODOS

Iniciou-se o processo com a recolha e higienização de latas de alumínio gastas, após converteu-se as latinhas em lingote de alumínio, com o auxílio de um forno elétrico e cloreto de sódio para purificação, o qual fora fracionado.

A fim de formar uma nova liga adicionam-se 3% de silício (Si) e 2,5% de cobre (Cu), com o auxílio de um forno de fundição, resultando em um lingote de liga Al+3Si+2,5Cu. Fracionando a liga resultante, uma parte dela será realizado o tratamento térmico, com o auxílio do forno FlyEyer FE-1700, dividido em duas sessões: solubilização e precipitação.

Para a caracterização do material reciclado de latas de alumínio da liga Al-3,8%SiCu3% e liga Al-3,8%SiCu3% T6, realizaram-se os seguintes procedimentos:

Análise de Composição Química - Realizada através de um espectrômetro de emissão óptico, onde os materiais foram acoplados no equipamento e incididos por micro-ondas fazendo-os exalar gases que determinam a concentração dos elementos presentes em cada material

Embutimento, Lixamento e Polimento - Realizado através da embutidora metalográfica, onde seguiu-se o processo à quente apresentado pela norma E407-95. Em seguida com o auxílio de uma lixadeira automática realizou-se o lixamento e polimento dos materiais a fim de obter uma superfície com a menor rugosidade possível.

Análise de Microestrutura - Realizado aplicando ácido fluorídrico, para a microestrutura ser revelada e analisada pelo microscópio

Análise de Microdureza – Realizada seguindo o método de teste padrão para a obtenção da dureza HV Vickers, com 6 medições espalhadas e obtendo o valor pela média.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para início do tópico, o primeiro resultado obtido é relacionado à análise de composição química do material reciclado de latas de alumínio, que apresentou as seguintes concentrações representado na figura 1.

Elemento	Ref	Si	Cu	Mg	Fe	Mn	Ni	Zn	Refl	Cr	Sn	Ti	Pb	Sr	Ca	Cd	Al
Média	22783	0,170	0,173	1,082	0,456	0,745	0,007	0,054	19916	0,0227	0,0203	0,0134	0,0730	0,0004	0,0004	0,001	97,180
Desv.P	3602	0,017	0,007	0,039	0,025	0,057	0,005	0,012	3481	0,0019	0,0116	0,0015	0,0067	0,0001	0,0000	0,001	0,0697

Figura 1: Composição química do material reciclado.

Observa-se que o material apresenta impurezas, destacando-se: Mg, Mn e Fe. Conhecidas as concentrações de elementos químicos da liga, segue abaixo resultados de microestrutura do material reciclado representada na Figura 2.

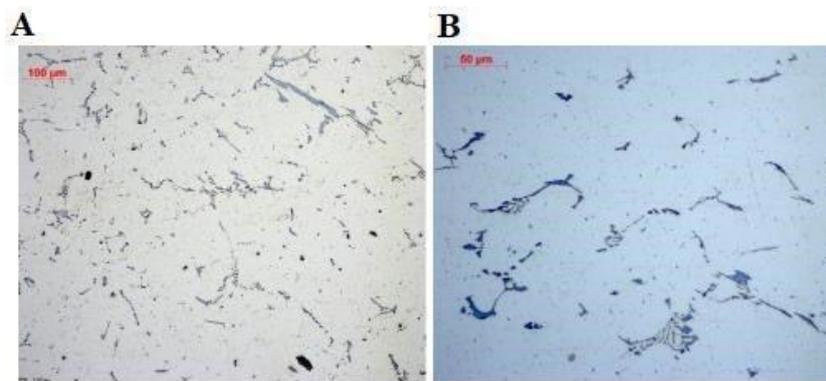


Figura 2: Microestrutura do Alumínio reciclado: (A) Microestrutura do Alumínio reciclado em lente de aumento x20; (B) Microestrutura do Alumínio reciclado em lente de aumento x50;

Nota-se que a liga reciclada apresenta, mas não muitos e grandes, precipitados, justificadas pelas pequenas concentrações desses elementos coadjuvantes. Entretanto, mostra diferentes tipos de precipitações que se diferem devido a variedade de elementos químicos presentes e suas características.

Após adição de elementos de liga Si e Cu, a análise de composição química resultante é apresentada nos dados da Tabela 2 abaixo.

Elemento	Ref	Si	Cu	Mg	Fe	Mn	Ni	Zn	Refl	Cr	Sn	Ti	Pb	Sr	Ca	S	Al
Média	27841	3,81	3,00	0,985	0,489	0,829	0,010	0,093	24181	0,0244	0,0226	0,0139	0,0637	0,0004	0,0011	0,0001	90,664
Desv.P	1673	0,14	0,30	0,017	0,015	0,047	0,002	0,010	2167	0,0006	0,0075	0,0005	0,0071	0,0001	0,0001	0,0000	0,3967

Figura 3: Composição química da Liga Al-3,8%Si-3%Cu.

A nova liga formada, apresenta agora novas concentrações, sendo composta por 3 elementos principais: Al, Si e Cu, que proporcionam diferente formação de microestrutura como mostra a Figura 4.

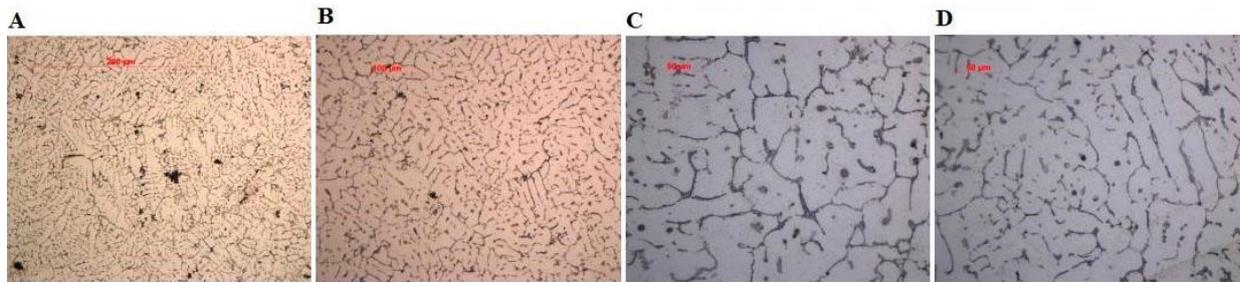


Figura 12: Microestrutura da Liga Al-3,8%Si-3%Cu: (A) Microestrutura da Liga Al-3,8%Si-3%Cu em lente de aumento x10; (B) Microestrutura da Liga Al-3,8%Si-3%Cu em lente de aumento x20; (C) Microestrutura da Liga Al-3,8%Si-3%Cu em lente de aumento x50; (D) Microestrutura da Liga Al-3,8%Si-3%Cu em lente de aumento x50;

Em comparação com a liga reciclada, nota-se uma microestrutura composta por dendritas e estrutura eutética sem arranjo ordenado das fases. De acordo com Moreira ⁽⁴⁾ esse tipo de morfologia deve-se às diferentes taxas de crescimento, proporção de concentrações, diferentes pontos de fusão e entropia de fusão dos elementos.

Ainda com a mesma composição química, contudo, tratado termicamente (T6), a nova liga obteve novos resultados microestruturais apresentados na Figura 13 a seguir.

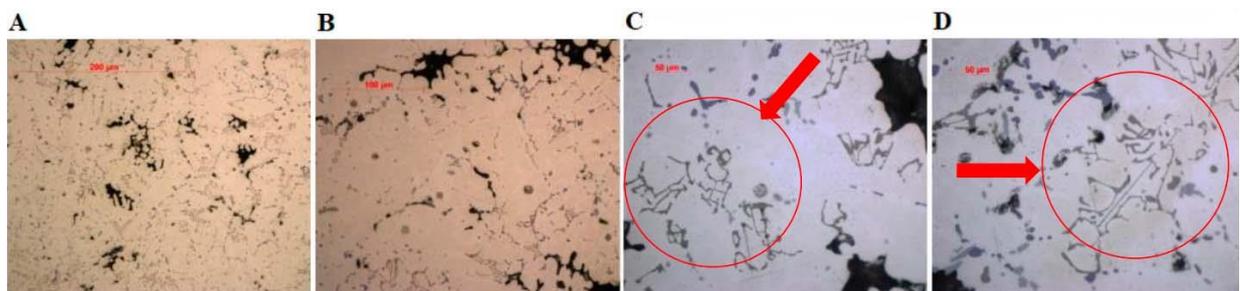


Figura 13: Microestrutura da Liga Al-3,8%Si-3%Cu T6: (A) Microestrutura da Liga Al-3,8%Si-3%Cu T6 em lente de aumento x10; (B) Microestrutura da Liga Al-3,8%Si-3%Cu T6 em lente de aumento x20; (C) Microestrutura da Liga Al-3,8%Si-3%Cu T6 em lente de aumento x50 com escritas chinesas; (D) Microestrutura da Liga Al-3,8%Si-3%Cu T6 em lente de aumento x50 com escritas chinesas;

Nota-se que o com tratamento térmico ocorrem mudanças morfológicas no material sendo fragmentadas e esferoidizadas devido à alta temperatura imposta no período de solubilização do tratamento térmico. Além disso, Moreira ⁽⁴⁾ cita que esse processo de fragmentação e esferoidização é intensificado pelo processo acelerado de resfriamento que aumenta ramificações do Si. Além disso, a microestrutura ainda apresenta uma morfologia típica da liga devido às concentrações de Si e Fe presentes na liga, que são as escritas chinesas ⁽⁵⁾.

Afim de estudos mecânicos das ligas, fora realizado o teste de microdureza que apresentou os seguintes resultados apresentados na tabela 3 abaixo.

Tabela 1: Valores de microdureza Al-Lata, Al-3,8%Si-3%Cu e Al-3,8%Si-3%Cu T6.

N	HV(Al-Lata)	HV(Al-3,8%Si-3%Cu)	HV(Al-3,8%Si-3%Cu T6)
1	68,22	90,00	151,33
2	62,40	96,97	90,10
3	67,26	92,14	127,87
4	66,63	90,81	85,64
5	65,01	95,38	146,19

6	63,05	95,80	88,51
Média	65,43	93,52	114,94
Desvio Médio	1,94	2,53	26,86
Desvio Padrão	2,14	2,65	27,81

A partir da análise de microdureza, percebe-se um aumento gradativo seguindo a sequência metodológica desenvolvida de fundição de latas, adição de elementos de liga e tratamento térmico que, utilizando a liga de latas de alumínio fundidas como referência apresentou um ganho de, aproximadamente, 43% e 76% para a nova liga não tratada e tratada termicamente, respectivamente. Esse aumento de microdureza deve-se à adição dos elementos de liga Cu e Si que, em concentrações como na liga experimentada, aumentam a resistência mecânica e resistência ao desgaste da liga, principalmente, ao ser tratada termicamente ⁽⁶⁾.

CONCLUSÕES

A partir de resultados obtidos, análises realizadas, embasamento teórico e referências citadas ao longo de todo o trabalho, pôde-se concluir que o projeto conseguiu caracterizar, microestruturalmente, a liga de lata de alumínio reciclada apresentando poucos contornos de grãos devido a seu alto grau de pureza, liga Al-3,8%Si-3%Cu com formação e crescimento de novos grãos em formas de dendritas, e liga Al-3,8%Si-3%Cu T6 com a esferoidização dos precipitados de Si e aparição de escritas chinesas advindas de concentrações de Fe. Além disso, atrelou-se valor agregado ao produto reciclado que teve sua microdureza aumentada em 43% e 76%, respectivamente, ao adicionar-se novos elementos de liga e passar por tratamento térmico (T6).

REFERÊNCIAS

1. REQUE, Suzane. Reciclagem de latas de alumínio - abordagem socioeconômica. 2003. f. Monografia (Especialização) - Curso de Educação Matemática, Universidade Tuiuti do Paraná, Curitiba, 2003.
2. a-ABAL, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO (Org.). Reciclagem no Brasil. Disponível em: <<http://abal.org.br/sustentabilidade/reciclagem/reciclagem-no-brasil/>>. Acesso em: 08 jun. 2019.
3. CALLISTER, W.D.; Materials Science and Engineering: An Introduction. 7th ed. Copyright 2007 by John Wiley & Sons, Inc.
4. MOREIRA, Paulo Sérgio. Efeito da taxa de resfriamento e dos tratamentos térmicos sobre as propriedades mecânicas de liga Al-Si-Mg (A360.0) fundida. 2011. 104 f. Tese (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011. Cap. 5
5. TAYLOR, J.A.; The effect of iron in Al-Si casting alloys; International Journal of Cast Metals Research; 1995; pp.225-252
6. HATCH, J.E.; Aluminum: Properties and Physical Metallurgy, ASM, Metals Park, USA, 1990.
7. SANTANA, G. P; BARRONCAS, P. S. R.; Estudo de metais pesados (Co, Cu, Fe, Cr, Ni, Pb e Zn) na Bacia do Tatumã-Açu Manuas AM, Acta Amazônia. VOL. 37(1) 2007:111 – 118.
8. EPSTEIN, Lawrence M.; ROSENBERG, Jerome I.; Química Geral, (Coleção Schaum), Porto Alegre: Bookman, 2003.

MICROSTRUCTURAL STUDY OF RECYCLED ALUMINUM CANS WITH EASY CASTING IN ELECTRICAL RESISTANCE KILN WITH ADDITIONS OF ALLOY ELEMENTS AND T6 HEAT TREATMENT

ABSTRACT

Since its discovery, pure metallic aluminum has been a protagonist in several nations due to its great diversity of applications and for being the most abundant metal in the world. Its recycling presents in relation to the primary production cost of 80-85% per ton, saving 95% of electric energy, reduction of waste disposal in the environment of 90%, reduction of greenhouse gas emissions of 90%, besides to be considered ecologically correct. Based on the above, which points to a vast market of activity and socio-environmental benefits, the present project aims to study and obtain microstructural characteristics of recycled aluminum cans with casting in an electric resistance kiln with the addition of alloy elements, in order to attach value aggregate and expand the spectrum of application of the recycled product. For this purpose, aluminum cans were melted in a controlled electrical resistance oven, obtaining the specimen of recycled aluminum (Al). With the remaining recycled material, copper (Cu) and silicon (Si) alloy elements were added and T6 heat treatment was carried out, which consists of a process of solubilization in a kiln at 520 °C for 4 hours followed by a bath in a bucket of water and artificial aging in a kiln at 180 °C for 6 h also followed by bathing in a bucket of water. Thus, 2 new specimens were formed, composed of: Al-3.8%Si-3%Cu and Al-3.8%Si-3%Cu T6. To characterize the alloys, chemical composition analysis, microstructural analysis and microhardness analysis were carried out in the alloys, which resulted in microstructures with precipitates, with the alloy Al-3.8%Si-3%Cu, in relation to the recycled Al alloy, with greater number of grains and dendritic structure. On the other hand, the heat-treated alloy presented a “Chinese writing” design on its surface, in addition to fragmentation and spheroidization of the precipitated Si particles. In terms of hardness, the Al-3.8%Si-3%Cu alloy recorded 43% gain in relation to the recycled Al alloy and the Al-3.8%Si-3%Cu T6 alloy, also related to the hardness of Recycled Al, presented a 76% gain. In this way, with the data obtained, it is possible to conclude the microstructural characterization of the materials studied, linking added value to the material with its increased hardness value and expanding its spectrum of application in order to support sustainable practice.

Keywords: *Recycling, aluminum cans, T6 heat treatment, Microstructural characteristics, Additions of alloying elements.*