



ANALISE TÉRMICA DA LIGA BINÁRIA Al-5%Sn

Dyenne L. de Lima¹, Leonardo C. de oliveira¹, Evaldo da C. Hofmann¹, e Laércio G. Gomes¹

1 - Departamento de Engenharia de Materiais, Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA), Belém, PA.

laercio.gomes@ifpa.edu.br

RESUMO

Estudo experimental com objetivo de determinar termicamente as temperaturas de início e final de solidificação da liga de Al-5%Sn e compará-la com o diagrama de fases dos sistemas binários propostos, a finalidade é autenticar a composição dos solutos na liga estudada, assim como, estabelecer a relação teórica-experimental e contribuir para o ensino aprendido dos alunos de engenharia de materiais do IFPA/Campus Belém. Os valores experimentais obtidos no laboratório de solidificação foram elaborados, desenvolvidos e aplicados na disciplina solidificação de metais com o objetivo de obter 1021 kg da liga Al-5%Sn. A liga foi calculada estequiometricamente e elaborada, na proporção exata de solvente (Al) e do soluto (Sn), respectivamente. Como resultados obtemos curvas de resfriamento [$T = f(t)$] da liga proposta, identificando temperaturas (liquidus e solidus) necessárias para o cálculo. O resultado mostrou que a liga obtida experimentalmente é a mesma proposta teoricamente.

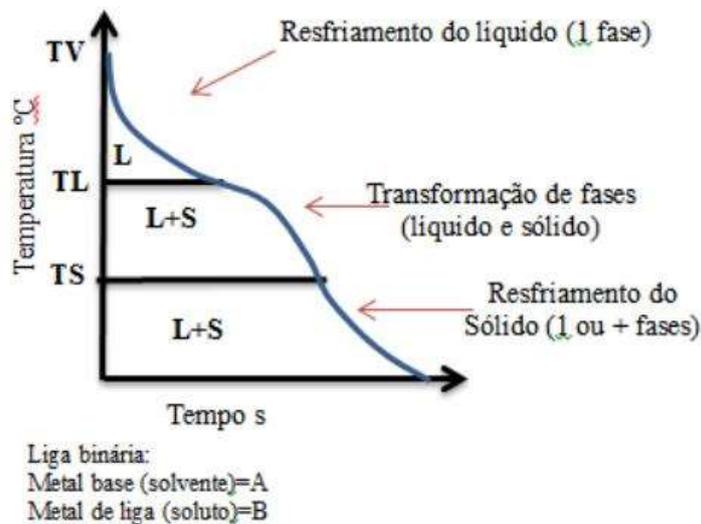
Palavras-chave: Ligas Binárias, Al-Sn, Caracterização, solidificação.

I. INTRODUÇÃO

As ligas metálicas são materiais formados pela mistura de dois ou mais componentes, dos quais pelo menos um é metal. O metal deve, ainda, ser encontrado em maior quantidade na mistura. Elas são criadas a partir do aquecimento entre os componentes da liga até os seus respectivos pontos de fusão, de modo conjunto ou isolado, seguido de esfriamento e solidificação. As ligas se caracterizam por fornecer ou modificar propriedades que os metais não apresentam. Dentre estas características destacam-se a condutividade elétrica e térmica; resistência à corrosão; brilho; resistência mecânica e temperatura de fusão.

Desse modo, as ligas oferecem propriedades que os metais isoladamente não possuem, contribuindo para que possam ser utilizados em diversas finalidades. Para que estas ligas sejam criadas devem-se submeter os seus constituintes ao aquecimento até seus respectivos pontos de fusão e posteriormente resfriá-la e aguardar o processo de solidificação. A partir daqui a liga segue para ensaios de caracterização onde serão observados seu comportamento e propriedades, somente então a liga seguirá a uma determinada aplicação.

Figura 1. Representação esquemática do processo de solidificação em condições de equilíbrio para uma liga metálica.



Cientes de qual liga binária serão extraídas as informações térmicas, objetos de estudos desta prática laboratorial, se faz necessário apresentar o objetivo das curvas de resfriamento, que é registrar medidas de temperatura em intervalo de tempo igual durante o resfriamento de um fundido até o estado sólido. A fim de comparar com o diagrama de equilíbrio do sistema binário (AlSn) para comprovar a composição química da Al-5%Sn.

II. MATERIAIS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS

2.1. Materiais e equipamentos utilizados

Os materiais utilizados para o processamento da liga binária Al-5%Sn foram o alumínio puro, estanho puro e par proteção do cadinho alumina em suspensão. Os equipamentos para a

preparação da liga metálica proposta foram a serra fita, prensa (morsa), serra, alicate de corte, balança analítica, cadinho, pincéis, barra de aço com proteção de alumina em suspensão, haste de transporte para cadinho (aranha), manta (lã de vidro), termopar, forno tipo mufla, sistema de aquisição de dados térmicos com *software* Field Logger, lixas d'água das respectivas numerações 80, 100, 200, 400, 600 *mesh*, Reagente Keller, espectrômetro de fluorescência de raios-X.

2.2. Métodologia experimental

Primeiramente, para o processamento de uma liga binária, realizou metais presentes na liga; sendo estes, o Alumínio e o Estanho. Foram devidamente fracionados na máquina serra de fita horizontal e, posteriormente, em uma balança eletrônica analítica. Determinaram-se os valores percentuais para cada elemento estequiométrico.

$$\begin{array}{r}
 \text{Al} \frac{\quad\quad\quad 970 \text{ g} \quad\quad\quad}{\quad\quad\quad} 95\% \\
 \text{Si} \frac{\quad\quad\quad x \quad\quad\quad}{\quad\quad\quad} 5\% \\
 \text{X} = (970 \times 5\%) / (95\%) \\
 \text{X} = 51,05 \text{ g}
 \end{array}$$

Após pesagem total dos dois lingotes, foi feita preparação e teste do termopar no aparelho Field Logger. Posteriormente, foi feito preparo do cadinho de carbeto de silício com a alumina em suspensão 0,5 μ . posteriormente o alumínio foi introduzido no cadinho. e fundido em um forno tipo mufla. E lá permaneceu por 90 minutos. Passado este tempo, retirou-se o cadinho e o apoiou sobre uma base de concreto.

Aqui, os pequenos pedaços de Estanhos foram introduzidos no cadinho e homogeneizados ao Alumínio fundido. Nesta etapa, um vergalhão foi utilizado para misturar os dois metais dentro do cadinho. Em seguida o cadinho foi novamente colocado dentro da mufla por 5 minutos. Após a fundição de ambos os metais, o cadinho foi posicionado na base de concreto e foi coberta por manta de lã de vidro, na qual um pequeno orifício tinha sido feito, e através dele o termopar foi introduzido e posicionado de modo a entrar em contato com a liga fundida. Por conseguinte, as temperaturas foram lidas e registradas pelo Field Logger em um computador.

Os dados foram coletados durante a solidificação desta liga em temperatura ambiente e lentamente, a fim de construir futuras curvas de resfriamento. Posteriormente, a liga foi seccionada, nesse caso o corte longitudinal é preferido, pois abrange toda a geometria regular analisável. onde apenas uma metade foi lixada com lixas d'água números 80,100,200,400,600 *mesh*. Quanto ao ataque da superfície, para Alumínio e suas ligas usamos o reagente denominado Keller, que constitui de 10 ml de ácido fluorídrico, 15 ml de ácido clorídrico concentrado, 25 ml de ácido nítrico concentrado, 50 ml de água destilada. O contato do corpo-de-prova com o reativo foi realizado por imersão, efetuado por 20 - 30 segundos e feito o ataque químico foi realizado a análise de macroestrutura. Também se determinou a composição química da liga binária Al5%Sn por meio do ensaio na máquina de fluorescência. A fim de comparar com a literatura, a partir dos experimentos realizados em laboratório.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio do processamento dos materiais, foi obtida a temperatura *liquidus* (TL) de 653 °C e uma temperatura de solidificação (TS) a 229 °C. A Figura 2 mostra a representação da curva de resfriamento da liga Al5%Sn obtida experimentalmente.

Figura 1. Curva de resfriamento da liga binária Al-5%Sn.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Geralmente a solidificação dos metais ocorrem em duas etapas, sendo a primeira a nucleação e o aparecimento de uma fase sólida no interior do metal líquido. Com a diminuição da temperatura os átomos que se movem aleatoriamente na fase líquida começam a ter uma maior estabilidade termodinâmica e a criar pequenos embriões, esses embriões são estruturas de sólidos estáveis, esse processo é conhecido como nucleação da fase sólida. A TES (Temperature of the End Solidification), temperatura de solidificação total, corresponde a inflexão na curva de resfriamento, é o mínimo da derivada da temperatura pelo tempo, que fica perto da solidificação, não precisando, necessariamente o fim da solidificação, sendo melhor determinada a partir da primeira derivada da curva de resfriamento. A forma da curva de resfriamento nada mais é do que resultado do calor perdido pelo metal fundido para o ambiente e para o molde utilizado, durante a mudança de fase. Os vários eventos que podem ser observados na curva de resfriamento podem estar associados a várias transformações que ocorrem durante o processo de resfriamento. Apesar do Alumínio possuir ponto de fusão a 660 °C e o Estanho a 231,93 °C, a liga Al5%Sn apresentou uma TL a 653 °C, ou seja, as propriedades do Estanho influenciaram as propriedades do Alumínio, que ao formar uma liga metálica apresentou outra característica e bem provavelmente outro comportamento.

O alumínio utilizado neste artigo foi doado pela Empresa Alumínio do Brasil – ALBRAS, com a composição química comercial. Para o estanho foi feita a composição química do material, sendo essa executada por meio do ensaio fluorescência de raios x e resultou nos seguintes dados exibidos na Tabela 2.

Tabela 2. Composição química do estanho.

Elemento químico	Composição (%)
In	0.2479%
Sn	99.63%
Sb	0.1263
Sum	100.0%

A Tabela 1. Mostra a etapa relevante referente a determinação da composição química da liga proposta, sendo essa executada por meio do ensaio fluorescência de raios x e resultou nos seguintes dados:

Tabela 1. Composição química da liga binária Al-5%Sn.

Elemento químico	Composição (%)
Mg	1.410
Al	91.58
Si	2.359
S	0.04984
Cl	0.05970
Fe	0.1059
Ni	0.007322
Cu	0.007214
Sn	4.417

Apesar da proximidade nos valores preconizados na literatura e como seriam esperados, ainda há divergência nos resultados pela quantidade significativa de outros elementos ditos impurezas presentes na composição desta liga. Foram analisados A macroestrutura da região do lingote solidificado de forma unidirecional ascendente é apresentada na Figura na qual se verifica o crescimento de grãos colunares paralelamente à direção do fluxo de calor. Classicamente a macrografia é definida pelo exame do aspecto de uma peça ou amostra metálica, com a abrangência de preparação desta bem estipulada como uma seção plana, devidamente polida e, normalmente, atacada por um reativo apropriado, sendo o resultado dessa avaliação nominado de macroestrutura. Nessa análise, que pode ser feita a olho nu ou com ampliação máxima de dez vezes utilizando microscópios estéreos, são observados a forma e o tamanho ou diâmetro médio dos grãos. Esse método disponibiliza a determinação de diversas

características do material, como a determinação das causas de fraturas, desgastes prematuros e outros tipos de falhas

IV. CONCLUSÕES

Considerando os dados coletados e as análises dos resultados obtidos neste experimento laboratorial, depreendem-se algumas possíveis conclusões, temos a conclusão de que a partir da análise dos dados da curva de resfriamento da liga Al-5%Sn, em analogia aos dados já publicados anteriormente com composição semelhante e proporções bem próximas, identificou-se a conformidade dos resultados teóricos e experimentais. Logo, o comportamento térmico da liga está de acordo com o esperado. Ressalta-se, ainda, que os valores das temperaturas *liquidus* e *solidus*, TL e TS, respectivamente, estão consoantes às produções científicas anteriores para este tipo de liga binária.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal do Pará – IFPA/Campus Belém por oferecer a infraestrutura e laboratórios para a realização destas atividades experimentais. À coordenação da Faculdade de Engenharia de Materiais por elaborar, junto ao corpo docente, o projeto pedagógico deste curso e viabilizar a oferta desta disciplina no período vigente. Aos colegas de curso, não somente da turma, pelo auxílio e apoio durante a realização das atividades. E por último, mas não menos importante, ao nosso orientador e professor, Dr. Laércio Gouvêa Gomes, agradecemos pela paciência, pelo respeito, pelo humanismo e pelo compromisso com a educação e ciência desenvolvidas na graduação.

REFERÊNCIAS

1. **Artigos de periódicos:** Mecânica. Campinas, SP: [s.n.], 2012. CARDOSO, N. R. J.; et al. Determinação experimental da composição de ligas binárias à base de alumínio. Artigo científico. Belém, PA. Nov. 2016.

VASCONCELOS, A.; et al. Caracterização térmica da liga Al-5,5%Sn após processo de solidificação. Artigo científico. Belém, PA. Set. 2013.
2. **Dissertações e teses:** GOMES, L. G. Microestrutura dendrítica, macros segregação e micro porosidade na solidificação de ligas ternárias Al-Si-Cu. Tese de Doutorado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia.

ABSTRACT

Experimental study with the objective of thermally determining the temperatures of beginning and end of solidification of the Al-5%Sn alloy and comparing it with the phase diagram of the proposed binary systems, the purpose is to authenticate the composition of the solutes in the studied alloy, as well as to establish the theoretical-experimental relationship and contribute to the teaching of material engineering students of IFPA/Campus Belém. The experimental values obtained in the solidification laboratory were elaborated, developed and applied in the metal solidification discipline in order to obtain 1021 kg of Al-5%Sn alloy. The alloy was calculated stoichiometrically and elaborated, in the exact proportion of solvent (Al) and solute (Sn), respectively. As results we obtain edifiback curves $T = f(t)$ of the proposed alloy, identifying temperatures (liquidus and solidus) necessary for the calculation. The result showed that the league obtained experimentally is the same proposal theoretically.

Keywords: Binary Alloys, Al-Sn, Characterization, solidification.