



## Propriedades térmicas do compósito intermetálico $\alpha$ -Al<sub>15</sub>(Fe, Mn/Cr)<sub>3</sub>Si<sub>2</sub> em matriz de alumínio obtido por solidificação controlada.

### RESUMO

O presente trabalho determinou a difusividade térmica de um compósito do tipo MMC, com intermetálico  $\alpha$ -Al<sub>15</sub>(Fe, Mn/Cr)<sub>3</sub>Si<sub>2</sub> em matriz de alumínio. Obteve-se uma camada espessa do compósito, entre 0,5 a 0,8 mm, a partir da solidificação controlada da liga AA380.0-F (modificada). A difusividade térmica foi então determinada pela técnica fotoacústica em amostras com polimento metalográfico. Confrontou-se os resultados com a fração volumétrica da fase intermetálica do compósito.

**PALAVRAS-CHAVE:** Compósito Intermetálico, Liga de Alumínio, Difusividade Térmica.

**Alan Douglas Hornung.**

[hornung@utfpr.edu.br](mailto:hornung@utfpr.edu.br)

Departamento Acadêmico de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR / Câmpus Ponta Grossa, Paraná, Brasil

**Ivanir Luiz de Oliveira.**

[ivanir@utfpr.edu.br](mailto:ivanir@utfpr.edu.br)

Departamento Acadêmico de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR / Câmpus Ponta Grossa, Paraná, Brasil

**Daniele Toniolo Dias.**

[danieletdias@utfpr.edu.br](mailto:danieletdias@utfpr.edu.br)

Departamento Acadêmico de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR / Câmpus Ponta Grossa, Paraná, Brasil

## INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de materiais compósitos (MMCs) é uma alternativa para ampliar as aplicações industriais das ligas metálicas leves. Diversos trabalhos têm apontado o intermetálico  $\alpha$ -Al15(Fe, Mn/Cr)3Si2 como promissor para reforço mecânico da matriz de alumínio [1]. Esta fase é estável termicamente, possui boa molhabilidade com o alumínio solidificado, apresenta morfologia dependente das técnicas de fabricação; e pode ser gerada de forma primária ou secundária. A estrutura cristalina do intermetálico  $\alpha$ -Al15(Fe, Mn/Cr)3Si2 dependerá do dopante adicionado; cúbica simples (CC) ou cúbica de corpo centrado (CCC) [2,3,4].

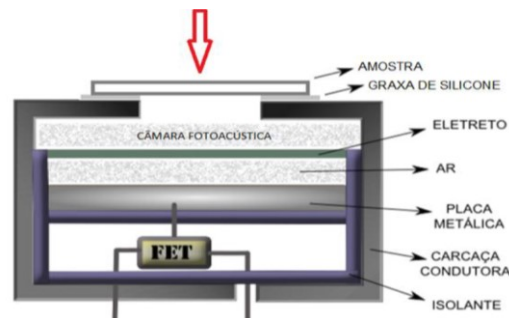
Os estudos sobre propriedades térmicas ainda são escassos na literatura para o MMCs como o intermetálico  $\alpha$ -Al (Fe, Mn, Cr) Si. Destaque para a difusividade térmica, equação 1.

$$\alpha = \frac{k}{\rho \cdot c_p} \left[ \frac{m^2}{s} \right] \quad (1)$$

Onde  $\alpha$  = Difusividade térmica do material; k = Coeficiente de condução de calor do material;  $c_p$  = Calor específico;  $\rho$  = Densidade do material [5].

Este trabalho explora a técnica fotoacústica do tipo célula aberta (OPC–Open Photoacoustic Cell). A difusividade térmica é obtida pela detecção de ondas acústicas produzidas na amostra por um feixe de luz monocromático e modulado numa faixa de frequência ( $\omega$ ). O calor gerado é propagado por todo o material por condução e o aquecimento na superfície oposta da amostra aquece o gás no interior de uma câmara (figura 1). Este por sua vez produz flutuações de pressão na mesma frequência  $\omega$  do feixe de luz. Estas flutuações são captadas pelo microfone, amplificadas e enviadas a um computador.

Figura 1: Conjunto sensor utilizado na análise fotoacústica.



Fonte: Adaptado [6]

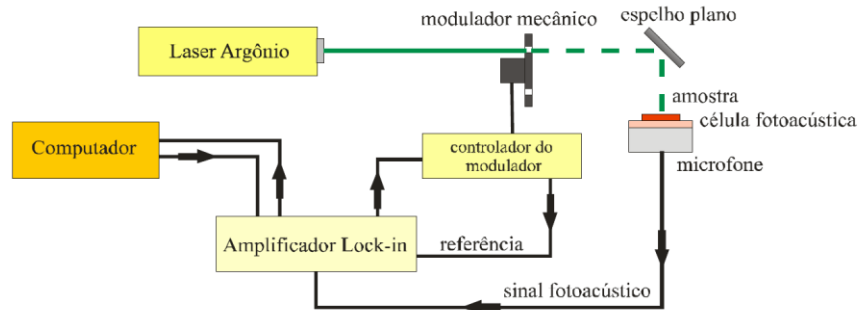
## METODOLOGIA

Os experimentos foram realizados nos Laboratório de Propriedades Termo-Ópticas (LAPTO) e no Centro de Termo Transformação de Materiais (CETEM) ambos no âmbito da UTFPR/Câmpus Ponta Grossa.

Os experimentos para a difusividade térmica por fotoacústica seguiram o esquema da figura 2. Dentro da teoria padrão da espectroscopia fotoacústica foi garantido que as amostras fossem opaca e “termicamente grossas”, ou seja, que o chamado comprimento de difusão térmico fosse menor que a espessura real da amostra. Nestas condições, simplificou-se as equações para o tratamento do sinal

fotoacústico. Para o modelo padrão de difusão térmica, o sinal tem comportamento  $f^{-1,5}$ .

Figura 2: Exemplo de esquema experimental da OPC.



Fonte: Adaptado de [6]

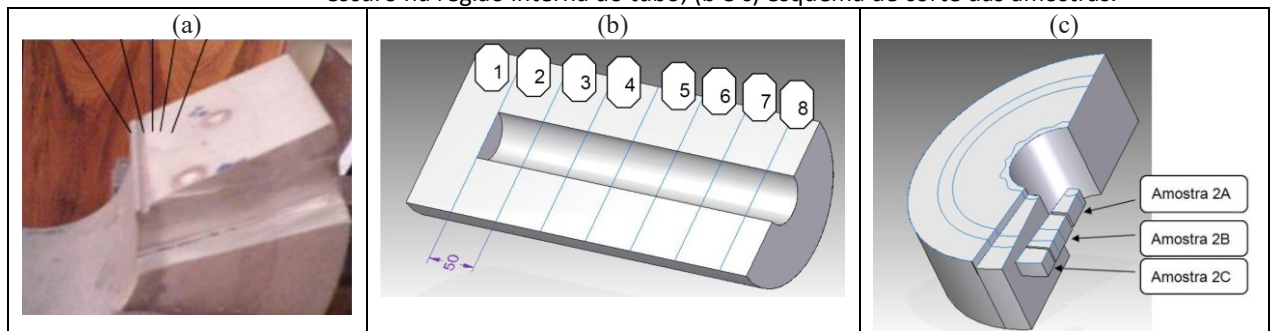
A equação simplificada é dada pela equação 2 [7,8], onde,  $S$  é a amplitude OPC;  $f$  é a frequência de modulação da luz incidente;  $A$  é uma constante independente das propriedades da amostra. A difusividade térmica do material ( $\alpha_s$ ) pode ser encontrada a partir da linearização da curva experimental pela obtenção do coeficiente  $b$ , dado pela equação 3, onde  $l$  é a espessura medida da amostra.

$$S = \left(\frac{A}{f}\right) \cdot \exp(-b \cdot \sqrt{f}) \quad (2)$$

$$b = \sqrt{\frac{\pi \cdot l^2}{\alpha_s}} \quad (3)$$

Na preparação das amostras, um lingote com formato tubular com 400 mm de altura e 127 mm de diâmetro externo e 48mm interno foi obtido por solidificação controlada para obter uma camada interna com um compósito entre 5 a 9 mm de espessura. A liga de referência utilizada para o banho líquido foi a AA380.0-F Die com 0,7% de Mg. O compósito é mostrado na Figura 3a. O compósito foi extraído com uma cortadeira de precisão onde obteve-se amostras com espessuras de 0,85 e 0,88 mm e preparadas metalograficamente com faces paralelas.

Figura 3: Lingote e preparação das amostras. (a) Amostra obtida com o compósito escuro na região interna do tubo; (b e c) esquema de corte das amostras.



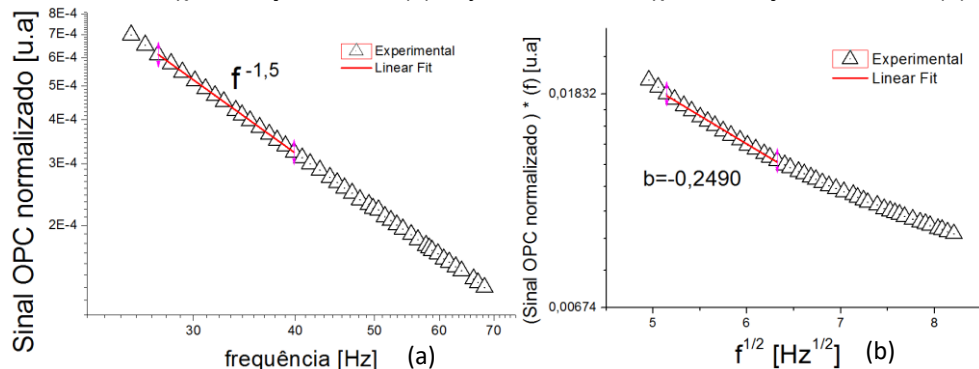
Fonte: Adaptado de [9]

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fração volumétrica do intermetálico no compósito foi avaliada entre 50 e 58%. A figura 5 ilustra os resultados por OPC. Os experimentos foram realizados

na frequência de modulação de 25-70 Hz e o sinal fotoacústico foi normalizado por sua função resposta ( $\chi$ ) [6]. A figura 5b ilustra para a amostra 1-2A o ajuste do gráfico  $\ln(S/\chi)f$  versus  $\sqrt{f}$  que possibilitou encontrar a variável b como o coeficiente angular da reta. A amplitude do sinal fotoacústico teve comportamento exponencial (equação 2) na região de frequência 27-40 Hz, como previsto pelo modelo de difusão térmica para uma amostra termicamente grossa, figura 5a. Uma vez encontrado o valor do coeficiente angular b e a espessura do material definiu-se o valor da difusividade térmica para cada amostra avaliada (equação 3).

Figura 5: Ajuste linear de  $S/\chi$  em função de f em (a) e ajuste linear de  $S/\chi*f$  em função de  $f^{1/2}$  em (b).



Fonte: Próprio autor.

Os valores obtidos para a difusividade térmica e a fração volumétrica do reforço intermetálico estão listados na tabela 1. A difusividade térmica obtida nos compósitos é próxima a 30% do valor do alumínio comercial onde há dependência da difusividade térmica com a quantidade de fase intermetálica (reforço) contida na amostra.

Tabela 1: Valores obtidos da difusividade térmica e fração volumétrica do compósito intermetálico  $\alpha$ -Al15(Fe, Mn/Cr)3Si2 na matriz de alumínio.

Amostras	Espessura das Amostras	b	Difusividade ( $\alpha$ ) ( $\times 10^{-6}$ m <sup>2</sup> /s)	Difusividade Média ( $\times 10^{-6}$ m <sup>2</sup> /s)	Porcentagem de fase intermetálica ( $\alpha$ )
1 - 2 A	820	-0,2499	33,81	33,82 $\pm$ 0,23	50%
1 - 2 A	820	-0,2495	33,92		
1 - 2 A	820	-0,251	33,51		
1 - 2 A	820	-0,249	34,05		
2 - 2 A	885	-0,2843	30,44	30,31 $\pm$ 0,21	58%
2 - 2 A	885	-0,2858	30,11		
2 - 2 A	885	-0,2838	30,55		
2 - 2 A	885	-0,2856	30,15		
Alumínio comercial	892	-0,1633	93,73	93,4 [ ref.6]	
	960	-0,1766	92,79		
	1116	-0,2043	93,74		

Fonte: Próprio autor.

### CONCLUSÃO

Pode-se concluir que a difusividade térmica para o compósito estudado com 50% de intermetálico foi de 33,82m<sup>2</sup>/s enquanto para 58% deste reforço foi de 30,31m<sup>2</sup>/s. Estes valores estão entre 32 e 36% da difusividade do alumínio comercialmente puro.

## Thermal properties of the $\alpha$ -Al15 (Fe, Mn / Cr) 3Si2 intermetallic composite in an aluminum matrix obtained by controlled.

### ABSTRACT

The present work determined the thermal diffusivity of a MMC type composite with intermetallic  $\alpha$ -Al15 (Fe, Mn / Cr) 3Si2 ~ aluminum matrix. A thick layer of the composite, 0.5-0.8 mm, was obtained from the controlled solidification of AA380.0-F (modified) alloy. The thermal diffusivity was then determined by the photoacoustic technique in samples with metallographic polishing. The results were compared with the volumetric fraction of the intermetallic phase of the composite.

**KEYWORDS:** Intermetallic Composite, Aluminum Alloy, Thermal Diffusivity.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CNPq por incentivar a pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- [1] L.G. HOU, SHUAI WANG, Z.B. HE, D. ZHANG, and J.S. ZHANG. **Synthesis and Characterization of In Situ Dendritic/ Particulate  $\alpha$ -Al(Fe,TM)Si Phase Reinforced Al Matrix Composites**. Metallurgical and Materials Transactions A. V. 47A, 2016.
- [2] SIMENSEN, C. J. AND BJØRNEKLETT, A.; **A Model for  $\alpha$ -Al(Mn,Fe)Si Crystals**. Light Metals 2017, Springer, The Minerals, Metals & Materials Society p.197.
- [3] YANG, W.; JI, S.; ZHOU, X.; STONE, I.; SCAMANS, G. **Heterogeneous Nucleation of  $\alpha$ -Al Grain on Primary  $\alpha$ -AlFeMnSi Intermetallic Investigated Using 3D SEM Ultramicrotomy and HRTEM**. Metallurgical and Materials Transactions A. V. 45 A. Nº. 7., 2014. p. 3971 – 3980.
- [4] GAO, T.; WU, Y.; LI, C; LIU, X. **Morphologies and growth mechanism of  $\alpha$  - Al(Fe,Mn)Si in Al-Si-Fe-Mn alloy**. Materials Letters. 2013, p. 191-194.
- [5] INCROPERA, f. P.; DEWITT, d. P.. **Fundamentos De Transferência De Calor E Massa**. 6 ed. Rio De Janeiro, Brasil: Itc – Livros Técnicos E Científicos S.A., 2003, 698p.
- [6] PRANDEL, Luís Valério. **IMPLEMENTAÇÃO DA TÉCNICA DE FOTOACÚSTICA DE CÉLULA ABERTA PARA OBTENÇÃO DA DIFUSIVIDADE TÉRMICA DE METAIS**. 2009. 72 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Física, Setor de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2009.
- [7] MARQUEZINI, M. V.; CELLA, N.; MANSANARES, A. M.; VARGAS, H.; MIRANDA, L. C. M. **Open photoacoustic cell spectroscopy. Measurement Science and Technology**. V.2, 1991, p.
- [8] PERONDI, L. F.; MIRANDA, L. C. M. **Minimal-volume photo acoustic cell measurement of thermal diffusivity effect of the thermoelastic sample bending**. Journal of Applied Physics. Vol. 62, 1987, p. 2955–2959.
- [9] FERREIRA, Tales. **DESENVOLVIMENTO DE CAMADAS RICAS NO INTERMETÁLICO  $\alpha$ -Al<sub>x</sub>(Fe,Mn,Cr)<sub>y</sub>Si<sub>z</sub> EM LIGAS Al-Si POR SOLIDIFICAÇÃO CONTROLADA**. 2016. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2016.

**Recebido:** 31 ago. 2017.

**Aprovado:** 02 out. 2017.

**Como citar:**

HORNUNG, A. D. et al. Propriedades térmicas do compósito intermetálico  $\alpha$ -al15(Fe, Mn/Cr)3Si2 em matriz de alumínio obtido por solidificação controlada. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA UTFPR, 22., 2017, Londrina. **Anais eletrônicos...** Londrina: UTFPR, 2017. Disponível em: <<https://eventos.utfpr.edu.br/sicite/sicite2017/index>>. Acesso em: XXX.

**Correspondência:**

Alan Douglas Hornung

Av Monteiro Lobato, s/n - Km 04, Ponta Grossa, Paraná, Brasil.

**Direito autoral:**

Este resumo expandido está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição-Não Comercial 4.0 Internacional.

