

# ENSAIO EXPERIMENTAL BASEADO EM ULTRA-SOM PARA OBTENÇÃO DA CONSTANTE ELÁSTICA DE UMA LIGA COM MEMÓRIA DE FORMA

**Victor Hugo C. de Albuquerque<sup>1</sup>, Danniell Ferreira de Oliveira<sup>1</sup>, Rodinei Medeiros Gomes<sup>1</sup>, Tadeu Antonio de Azevedo Melo<sup>1</sup>, João Manuel R. S. Tavares<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Departamento de Engenharia Mecânica, Laboratório de Solidificação Rápida, Cidade Universitária, S/N - 58059-900 - João Pessoa/PB, BRASIL

Emails: [victor.albuquerque@fe.up.pt](mailto:victor.albuquerque@fe.up.pt), [dannieldeoliveira@gmail.com](mailto:dannieldeoliveira@gmail.com), [gomes@lsr.ct.ufpb.br](mailto:gomes@lsr.ct.ufpb.br), [tadeu@lsr.ct.ufpb.br](mailto:tadeu@lsr.ct.ufpb.br)

<sup>2</sup>Laboratório de Óptica e Mecânica Experimental (LOME), INEGI

Departamento de Mecânica e Gestão Industrial, FEUP, Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465, Porto, PORTUGAL

Email: [tavares@fe.up.pt](mailto:tavares@fe.up.pt), Url: [www.fe.up.pt/~tavares](http://www.fe.up.pt/~tavares)

## RESUMO

*O objectivo deste trabalho foi determinar a constante elástica de uma liga com memória de forma CuAlBe através de ensaio por ultra-som. Foi utilizado um transdutor longitudinal com frequência central de 54kHz, e um osciloscópio para medir o intervalo de tempo envolvido. Como a espessura do material ensaiado era conhecida, foi possível determinar a velocidade sónica. A partir dos dados desta velocidade e da densidade do material determinou-se a constante elástica da liga em estudo. O valor encontrado foi de 58GPa, próximo dos valores indicados na literatura associada. Portanto, o método proposto revelou-se confiável, rápido, com a vantagem adicional de ser não destrutivo.*

## 1 - INTRODUÇÃO

As ligas que apresentam a característica de recuperar totalmente ou em grande parte a sua forma e/ou o seu tamanho original mediante a aplicação de um procedimento térmico ou de uma deformação severa são usualmente denominadas por ligas com memória de forma (Shape Memory Alloys - SMA), (Xiao et al., 2007).

As ligas com memória de forma mais comumente encontradas são: Nitinol-Tinel, Cobre-Zinco-Alumínio, Cobre-Zinco-Níquel, Níquel-Alumínio e Ferro-Platina, sendo geralmente apresentadas na forma de fio de arame, barras, tubos e lâminas, (Saarivirta, 2004). Entretanto, investigadores tentam desenvolver outras

ligas, visando minimizar o custo de fabricação e, principalmente, melhorar as propriedades mecânicas destas.

As principais vantagens das ligas com memória de forma são: biocompatibilidade, alta resistência mecânica e à corrosão, (Wu e Schetky, 2000). Como desvantagens, podem-se citar, por exemplo, o difícil controlo na composição e homogeneização, bem como a baixa resistência à fadiga.

As ligas com memória de forma são apenas constituídas por duas fases no estado sólido, martensita e austenita, sendo definidas de acordo com o rearranjo da sua estrutura molecular com a alteração da temperatura da liga. Esta mudança de temperatura é

responsável pela alteração da fase austenítica para martensita e vice-versa.

Visando aplicar e analisar uma técnica não destrutiva, o presente trabalho teve como objectivo principal estudar um novo método capaz de determinar a constante elástica através de ensaio por ultra-som.

Este artigo está organizado da seguinte forma: na sessão seguinte, são abordadas as técnicas usualmente utilizadas para determinar o módulo elástico, bem como os procedimentos para fabricação do material utilizado neste trabalho. Na sessão 3, são analisados e discutidos os resultados obtidos pelo método proposto, e, por fim, na quarta e última secção, são indicadas as vantagens e desvantagens da utilização da técnica proposta, viabilizando ou não a sua utilização.

## 2 - METODOLOGIA

Como já referido, foi utilizada uma liga com memória de forma composta pelos elementos CuAlBe. Esta liga foi fundida num forno de alta indução no Laboratório de Solidificação Rápida da Universidade Federal da Paraíba e, em seguida, foi homogeneizada à temperatura de 850°C durante 40 min num forno de resistência eléctrica, sendo posteriormente arrefecida em água com agitação moderada.

Após a preparação da amostra, foi realizado o ensaio por ultra-som à temperatura ambiente, sendo a austenita a fase estudada. Para determinar a velocidade sónica, utilizou-se um transdutor longitudinal com frequência de 54KHz, uma vez que transdutores com frequências superiores não se relevaram eficientes. Isto porque a amostra absorvia quase completa-mente a onda sónica emitida, sendo apenas possível identificar correctamente o primeiro pico verificado.

Por ser de baixa frequência, o transdutor teve que ser excitado com uma fonte de alimentação externa. A leitura referente à variação do tempo em que a propagação do som percorreu toda a espessura do material da amostra foi realizada através de um osciloscópio. A propagação da onda ocorreu no domínio ultrasónico, uma vez que a

sensibilidade do ouvido humano é na escala de 6Hz a 16kHz, (Martines et al., 2000).

Na figura 1, é apresentado um diagrama das etapas consideradas para a obtenção da constante elástica, sendo estas: fundição, homogeneização, torneamento (para garantir paralelismo da amostra), ensaio por ultra-som, cálculo da densidade do material e determinação da constante elástica.

## 3 - RESULTADOS EXPERIMENTAIS

A técnica para mensurar o módulo elástico adoptada baseada na velocidade sónica longitudinal, visou tornar esta medição mais rápida, além de ser não destrutiva o que permite, por exemplo, aproveitar a amostra ensaiada na realização de outros ensaios mecânicos posteriores. Como já indicado, como amostra utilizou-se uma liga com memória de forma do tipo CuAlBe.

O primeiro passo foi determinar a variação temporal ( $\Delta t$ ) necessária para a onda sónica sair da superfície até à base do material, e mensurar a espessura do corpo de prova ( $\Delta s$ ) utilizando-se para tal um micrómetro. O valor da variação do tempo foi de 5.32 $\mu$ s para uma espessura de 1.528x10<sup>-2</sup>m. Assim, a velocidade longitudinal ( $V_l$ ) foi de 2872m/s, obtida de acordo com a equação:

$$V_l = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (1)$$

O próximo passo foi obter o valor da densidade ( $\rho$ ) do material através da equação:

$$\rho = \frac{M}{Vol} \quad (2)$$

em que  $M$  representa a massa e  $Vol$  o volume do material. A massa com valor de 2.8321x10<sup>-1</sup>kg foi determinada usando uma balança digital com capacidade de mensurar até 4kg. O volume na ordem de 4.02736x10<sup>-5</sup> m<sup>3</sup> foi obtido considerando a equação de um cilindro perfeito, uma vez que os corpos de prova eram próximos desta geometria. Assim, o valor da densidade da liga CuAlBe foi de 7032.25kg/ m<sup>3</sup>.

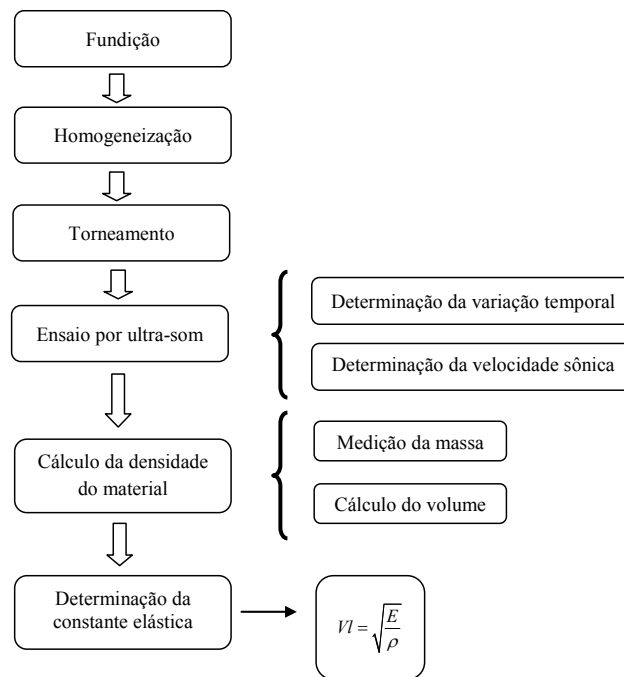


Fig 1: Diagrama das etapas para determinação da constante elástica.

Após determinar o valor da velocidade longitudinal e da densidade da amostra em estudo, pôde-se calcular o valor do módulo de elasticidade ( $E$ ) através da equação:

$$V_l = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (3)$$

A liga com memória de forma CuAlBe estudada apresentou assim um módulo de elasticidade na ordem de 58GPa, que é bastante semelhante ao valor de 60GPa encontrado, por exemplo, por Tian e Wu, (Tian e Wu, 2002a, 2002b)

Na tabela 1 estão sumariamente apresentados os dados obtidos da liga CuAlBe estudada.

#### 4 - CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

Neste trabalho foi apresentada uma técnica não destrutiva para determinar o valor da constante elástica de uma liga com memória de forma CuAlBe através de ensaio experimental por ultra-som.

A técnica proposta revelou-se eficiente e rápida na determinação do módulo de elasticidade, uma vez que o valor

encontrado muito próximo ao indicado na literatura da especialidade.

Assim, pode-se concluir que a determinação da constante elástica baseada na velocidade sônica assume-se como viável e promissora, com a grande vantagem de ser do tipo não destrutivo.

Como perspectiva de trabalho futuro, serão realizados ensaios por ultra-som variando a temperatura de -150 a +150°C considerado a liga aqui estudada, sendo assim possível uma análise mais detalhada do comportamento do módulo elástico nas fases martensítica e austenítica da mesma.

Tabela 1: Resultados obtidos experimentalmente para a liga CuAlBe em estudo.

Variação do Tempo ( $\Delta t$ )	5.32 $\mu$ s
Espessura ( $\Delta s$ )	1.528x10 <sup>-2</sup> m
Velocidade Longitudinal ( $V_l$ )	2872 m/s
Massa ( $M$ )	2.8321x10 <sup>-1</sup> kg
Volume	4.02736x10 <sup>-5</sup> m <sup>3</sup>
Densidade	7032.25 kg/m <sup>3</sup>
Constante Elástica	58 GPa

## AGRADECIMENTOS

O trabalho apresentado foi desenvolvido no Laboratório de Solidificação Rápida (LSR) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), onde a liga utilizada foi fundida e homogeneizada.

O ensaio por ultra-som foi realizado no Centro de Ensaios Não-destrutivos (CENDE) da Universidade Federal do Ceará (UFC).

O financiamento foi concedido pelo CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Brasil.

## REFERÊNCIAS

- L. Xiao, F. Liu e H. Xu, Phase Transformation Behaviors and Shape Memory Effects of TiNiFeAl Shape Memory Alloys, *Journal of University of Science and Technology Beijing* 14(3): 256-260, 2007.
- E. H. Saarivirta, Microstructure, Fabrication and Properties of Quasicrystalline AlCuFe Alloys: a review, *Journal of Alloys and Compounds* 363, 150-174, 2004.
- M. H. Wu e L. M. Schetky, Industrial Applications for Shape Memory Alloys, *Proceedings of the International Conference on Shape Memory and Superelastic Technologies*, Pacific Grove, California, 171-182 (2000).
- M.A.U. Martines, M.R. Davolos e M.J. Júnior, O efeito do Ultra-som em Reações Químicas, *Química Nova* 23(2): 251-256, 2000.
- Q. Tian e J. Wu, Characterisation of phase transformation in Ti<sub>50+x</sub>Pd<sub>30</sub>Ni<sub>20-x</sub> alloys, *Characterisation of Phase Transformation in Ti<sub>50+x</sub>Pd<sub>30</sub>Ni<sub>20-x</sub> Alloys* [10\(7\)](#): 675-682, 2002a.
- Q. Tian e J. Wu, Dynamic Properties of Ti<sub>51</sub>Pd<sub>30</sub>Ni<sub>19</sub> High-Temperature Shape Memory Alloy under Different Heat Treatment Conditions, [Scandinavian Journal of Metallurgy](#) 31(4):251-255, 2002b.