

ESTUDO DAS PROPRIEDADES MORFOLÓGICAS E MECÂNICAS DA LIGA CU-11,8% AL-058% BE-0,3% CR COM EFEITO MEMÓRIA DE FORMA

Márcia de Fátima Almeida Silva, marcia.almeidafs@gmail.com¹

Daniel Ferreira de Oliveira, danieldeoliveira@gmail.com²

Nadie Katyllie Silva Diniz, ndinizdic@gmail.com³

Ricardo Francisco Alves, ricardo_alves_francisco@hotmail.com⁴

¹Universidade Federal da Paraíba, Cidade Universitária, s/n – Castelo Branco, João Pessoa,

²Universidade Federal da Paraíba, Cidade Universitária, s/n – Castelo Branco, João Pessoa,

³Universidade Federal da Paraíba, Cidade Universitária, s/n – Castelo Branco, João Pessoa,

⁴Universidade Federal da Paraíba, Cidade Universitária, s/n – Castelo Branco, João Pessoa,

Resumo: O estudo dos materiais para engenharia é crescente, dentre estes destacam-se as ligas com efeito memória de forma, considerados materiais inteligentes, e podem ser empregadas em diversas áreas. Dentre estas ligas podemos citar as ligas a base de CuAl, que combinadas a outros elementos atribuem propriedades relevantes. Este trabalho tem como objetivo, analisar as propriedades da liga Cu-11,8% Al-0,58% Be-0,3% Cr com efeito memória de forma, através de sua caracterização morfológica e mecânica para posterior aplicação. Os elementos foram pesados, fundidos e os lingotes resultantes foram homogeneizados a 850°C por 12 horas. As amostras foram usinadas por eletroerosão e em seguida temperadas. Por conseguinte, realizou-se análise DSC, e as amostras foram caracterizadas por Microscopia Ótica, Difração de Raios X, ensaio de dureza Rockwell e cisalhamento. Os resultados apresentaram que a liga apresenta tamanho de grão médio de 200µm o que proporciona boas propriedades mecânicas, verificadas através do ensaio de dureza e cisalhamento.

Palavras-chave: efeito memória de forma, tamanho de grão, propriedades mecânicas

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento das ligas com efeito memória de forma têm contribuído com o avanço da ciência dos materiais, nos mais diversos campos de aplicação, mecânico, biomédico, ortodôntico e aviação. Além dos avanços tecnológicos as melhorias nos equipamentos de ensaio e caracterização de materiais, tem contribuído pontualmente com o estudo da ciência dos materiais nas três áreas de abrangência, em especial os estudos sobre as ligas com efeito memória de forma que tem se destacado em número de pesquisas e nas descobertas de suas aplicações e propriedades, entre estas propriedades estão além do efeito memória de forma, a superelasticidade e a pseudoelasticidade (LAGOUDAS, 2008; BELTRAN et. al., 2011). Dentre as aplicações podemos citar a medicina, ortodontia e engenharia, devido as propriedades termomecânicas exclusivas destas ligas.

As ligas com efeito memória de forma possuem essencialmente duas fases, austenita e martensita. Quanto a sua estabilidade a austenita é mais estável a altas temperaturas e baixas tensões, enquanto a martensita a baixas temperaturas e altas tensões (BELTRAN et. al., 2011). Estas ligas, variam sua estrutura, sem que ocorra difusão (ERGEN et. al., 2013), diferente do que ocorre nas transformações polimórficas em ligas convencionais, via difusão, nas ligas com efeito memória de forma, estas transformações quando sujeitas a determinadas temperaturas e tensões e podem retornar a forma original quando retirada a solicitação. Os mecanismos que estão ligados a estas propriedades são a temperatura induzida por tensão e as transições de fase entre austenita e a martensita (deformada e não deformada) (ZHU et. al., 2016). Quatro temperaturas definem as transformações de fases das ligas EMF: Ms martensita inicial, Mf martensita final, As austenita inicial e Af austenita final.

Dentre as ligas com EFM, temos as Cu-Al que têm sido utilizadas frequentemente, em substituição as ligas Ni-Ti (LOPEZ-FERREÑO et. al., 2016), devido suas propriedades mecânicas e a larga faixa de transformação de temperatura. Com a finalidade de atribuir ou melhorar algumas características, são adicionados elementos ternários e quaternários, que podem servir como refinadores de grão promove a redução de temperatura de transformação e melhora propriedades mecânicas, como exemplo o Be e Cr (ERGEN et. al., 2013).

Deste modo foi confeccionada a liga, para verificação das propriedades mecânicas para posterior aplicação. A liga Cu-Al-Be-Cr foi caracterizada através de DSC, Microscopia ótica, DRX, Dureza Rockwell e cisalhamento.

2. Materiais e Métodos

Os elementos foram pesados e fundidos em um forno de indução com cadinho de grafite. Os lingotes resultantes da fundição foram homogeneizados em forno tipo MUFLA da JUNG à 850°C por 12 horas. Uma amostra foi submetida ao tratamento térmico de têmpera, que baseia-se no aquecimento da liga até a temperatura de 850°C, por 30 min, e resfriamento brusco em água a temperatura ambiente para adquirir o efeito memória de forma. Posteriormente, realizou-se análise varredura, DSC, na amostra, para verificação das temperaturas de transformação de fase.

Logo após a homogeneização, foram confeccionados as amostras através da usinagem do lingote por torneamento, em torno ROMI 20s, e eletro-erosão.

2.1 Fundição de Homogeinização

Para a fundição, os elementos foram pesados e em seguida foram fundidos em cadinho de grafite no forno tipo mufla a 1250°C, até que todos seus elementos fossem fundidos. Após a fundição a liga foi homogeneizada por 12h a 850°C em forno tipo MUFLA.

2.2 Análise Térmica: Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC)

As temperaturas de transformação de fase foi estabelecida por meio da Calorimetria Diferencial de Varredura, utilizando o equipamento DSC 60 da SHIMADZU e com o reforço do software TA-60. Foi retirado uma amostra da região central do lingote e utilizada uma taxa de 10°C/min. Ensaio realizado sob atmosfera de nitrogênio.

2.3 Tamanho de grão: Microscopia Ótica (MO)

Na Figura (1), o exemplo da amostra de Cu-11,8%-Al-0,58%-Be-0,3%-Cr, a amostra utilizada embutida com resina baquelite, lixada com o auxílio de lixas (150, 280, 320, 400, 500, 600, 700, 800, 1000, 1200, 2000), polida e após sofrer ataque químico com uma solução aquosa de Cloreto de Ferro a 10% para visualização dos contornos de grão. Durante o ataque a amostra foi submersa durante 5s.

Figura (1): Fotografia das amostras de Cu Al Be Cr após tratamento metalografico.



2.4 Difração de Raios X

As fases foram identificadas por difração de raios X, através do difratômetro SIEMENS D5000. Utilizou-se uma radiação Cu-K α com comprimento de onda de $\lambda=1,54184$ Å. A faixa de análise foi de $25^\circ < 2\theta < 90^\circ$, com a taxa de aquisição de dados de $0,02^\circ/4s$.

2.5 Caracterização Mecânica: Dureza Rockwell e Cisalhamento

Para o ensaio de Dureza Rockwell Utilizamos o penetrador tipo cone de diamante com 120° de conicidade. Foram realizadas 12 indentações na amostra e em seguida realizada a média. O resultado obtido do ensaio gera um valor adimensional. Escala utilizada na Tab. 1 a seguir.

Tabela 1: Escala de Dureza Rockwell utilizada no ensaio.

Símbolo da escala	Penetrador	Carga maior (kgf)	Cor da escala
A	Diamante	60	Preta

A amostra cilíndrica foi inserida em duas chapas de aço, para realização do ensaio de cisalhamento, na Figura (2) verifica-se o ensaio de cisalhamento.

Figura 2: Ensaio de Cisalhamento da liga com memória de forma.



3. Resultados e Discussão

3.1 Análise Térmica: Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC)

No Gráfico 1 e Tab. 2, a seguir verifica-se as temperaturas de transformação de fases da liga Cu Al Be Cr.

Gráfico 1: Fotografia das amostras de Cu Al Be Cr após tratamento metalográfico.

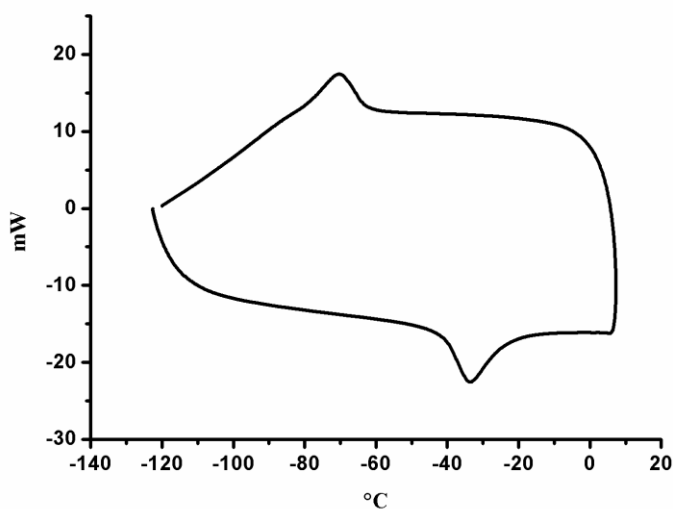


Tabela 2: Temperatura de transformação de fase da liga Cu-11,8% Al-0,58% Be-0,3% Cr.

Liga	Ai	Af	Mi
Cu-11,8% Al-0,58% Be-0,3% Cr	-41,5°C	-20°C	-77,8°C

3.2 Verificação do tamanho de Grão

As Figuras (2) e (3) a seguir, apresentam a caracterização microestrutural por microscopia ótica para medição do tamanho de grão da liga Cu Al Be Cr.

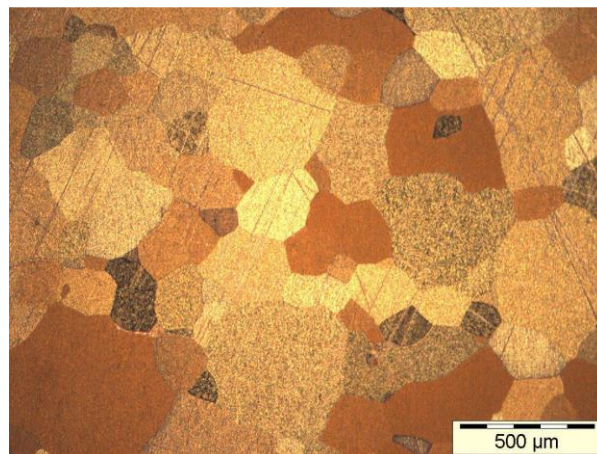
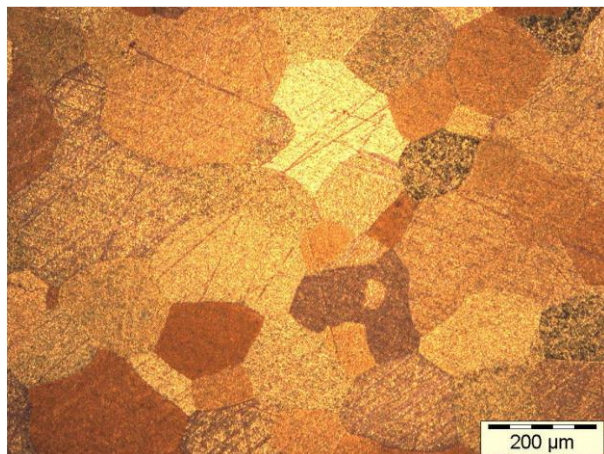


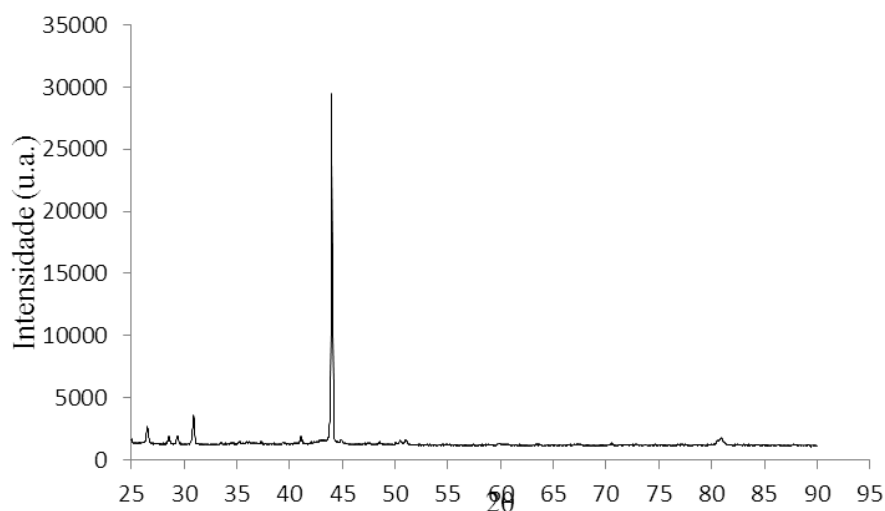
Figura 2: Fotomicrografia da liga Cu Al Be Cr (% em peso), com aumento de 5000x; **Figura 3:** Fotomicrografia da liga Cu Al Be Cr (% em peso), com aumento de 10000x.

O resultado da análise evidenciou um tamanho médio de grão de 200µm, porém este resultado apresentou um tamanho de grão maior que em estudos anteriores que apresentavam fase martensítica a temperatura ambiente como CÂNDIDO em 2010, enquanto está liga apresenta fase austenítica a temperatura ambiente.

3.3 Difração de raios X

No Gráfico 2 verificamos o difratograma da liga Cu-11,8% Al-0,58% Be-0,3% Cr que é semelhante aos difratogramas obtidos por RODRIGUEZ et. al. em 2006, que exibe os picos característicos da fase β da austenítica.

Gráfico 2: Difratograma da liga Cu-11,8% Al-0,58% Be-0,3% Cr.



3.4 Caracterização Mecânica: Dureza Rockwell e Cisalhamento

3.1.1 Dureza Rockwell

Foram realizadas 12 medições para cada amostra e a dureza foi obtida através da média resultante. Na tabela 3 a seguir verificamos a média da Dureza Rockwell.

Tabela 3: Dureza Rockwell para a liga Cu-11,8% Al-0,58% Be-0,3% Cr.

Lingote da liga	Dureza Rockwell (HRA)
Cu-11,8% Al-0,58% Be-0,3% Cr	58,1

O ensaio de dureza Rockwell confirma que com a aplicação de cargas maiores resulta em martensita induzida por tensão com valor de 2,36 GPa.

3.1.2 Cisalhamento

Foram realizados três repetições do ensaio, no Gráfico 3 abaixo e na Tab. 3, podemos visualizar a curva representativa da força máxima.

Gráfico 3: Gráfico de cisalhamento da amostra da liga Cu-11,8% Al-0,58% Be-0,3% Cr.

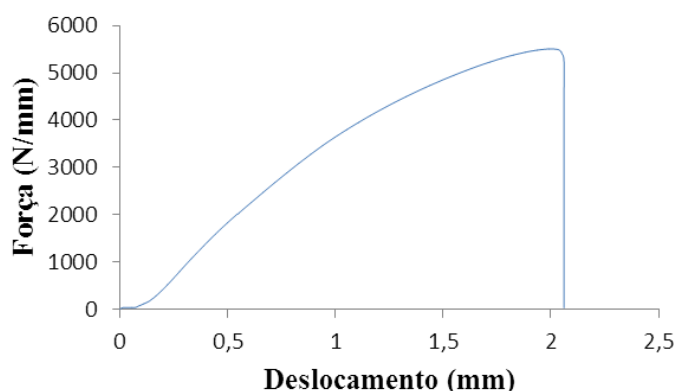


Tabela 3: Valores do cisalhamento da amostra da liga Cu-11,8% Al-0,58% Be-0,3% Cr.

Amostra	Carga Máx (N/mm)	Tensão de Ruptura
Média	5505,304	5298,65

Verificamos através do gráfico que a amostra da liga apresenta deformação desejável.

4. Conclusões

A análise DSC demonstra que a liga Cu-11,8% Al-0,58% Be-0,3% Cr encontra-se na fase austenítica a temperatura ambiente.

Para o ensaio de dureza Rockwell podemos verificar que ao passo que são realizadas as endentações, ocorre a formação de martensita induzida por tensão com valor de 2,36 GPa, por isso a redução no valor da tensão, dependendo da fase da amostra.

Através das propriedades mecânicas relevantes apresentadas com a caracterização mecânica, pode-se dizer que a liga Cu-11,8% Al-0,58% Be-0,3% Cr, apresenta características para possível fabricação de elementos de fixação.

5. AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade Federal da Paraíba e a Capes que fomentou esta pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

- Lagoudas, D. C. 2008. Shape Memory Alloys: Modeling and engineering Applications. Ed. Springer. Texas.
- Beltran, J. F.; Cruz, C.; Herrera, R.; moroni, O., 2011. Shape memory alloys CuAlBe strands subjected to cyclic axial loads. Engineering Structures, v. 33, p. 2910-2918.
- Ergen, S.; Uzun, O.; Yilmaz, F.; Kiliçaslan, F. M., 2013. Shape memory properties and microstructural evolution of rapidly solidified CuAlBe alloys. Materials Characterization, v. 80, p. 92-97.
- Zhu, P.; Feng, P.; Sun, Q. P.; Wang, J.; Dai, H. H., 2016. Determining the up-Down-up response through tension tests of a pre-twisted shape memory alloy tube. International Journal of Plasticity, v. 85, p. 52-76.
- Lopez-Ferreño, I.; Breczewski, T.; López, G. A.; Nó, M. L.; Juan, J. S., 2016. Stresse-assisted atomic diffusion in metastable austenite DO₃ phase of Cu-Al-Be shape memory alloys. Scripta Materialia, v.124, p. 155-159.
- Cândido, G. V. M., 2010. Efeito da adição de cromo sobre a microestrutura e propriedades termomecânicas em ligas Cu-Al-Be com efeito memória de forma. João Pessoa. UFPB.