

CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DA LIGA MULTICOMPONENTE MONOFÁSICA (μ) 48Nb15Fe13Ni12Cr12Al (%at.)

Breno de Souza Rangel (IC)¹, Dr. Antonio Augusto Araújo Pinto da Silva (PQ)¹
¹Universidade Federal de Itajubá.

Palavras-chave: Composto intermetálico. Ligas multicomponentes. Microestrutura. Propriedades mecânicas.

Introdução

A pesquisa experimental sobre ligas multicomponentes tem revelado propriedades promissoras não encontradas em ligas metálicas convencionais. Essas propriedades incluem alta dureza, equilíbrio entre resistência mecânica e ductilidade, especialmente em temperaturas criogênicas, estabilidade térmica elevada, resistência à oxidação em altas temperaturas e resistência à fluência. Essas características têm aplicações potenciais em setores como o espacial, eletrônico, energético e metalúrgico (SENKOV et al., 2010; YEH, 2016; WANG; WANG; YEH, 2014).

As ligas multicomponentes monofásicas CFC têm boa resistência mecânica, ductilidade e tenacidade à fratura, mas apresentam limitações de uso devido ao baixo limite de escoamento em temperaturas normais e elevadas. Para melhorar a resistência dessas ligas, tem sido empregada uma estratégia que inclui ajustes na composição, tratamentos termomecânicos e a precipitação de fases intermetálicas duras, como σ , μ e laves (WANG; GENC; BAKER, 2017; TSAI, M. H., et al, 2016).

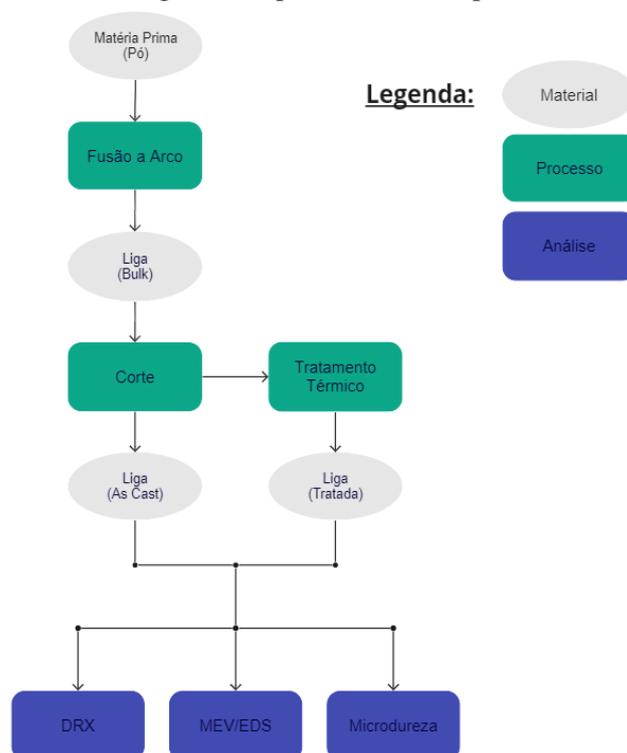
A precipitação da fase μ na liga multicomponente equimolar AlCrFeNbNi se mostra promissora para fortalecer a sua matriz e alcançar uma excelente combinação de resistência e ductilidade, tornando essas ligas mais competitivas em diversas aplicações.

Portanto, este estudo tem como objetivo caracterizar a microestrutura da liga multicomponente monofásica (μ) 48Nb15Fe13Ni12Cr12Al (%at.), tanto no estado bruto de fusão quanto tratada termicamente (600 °C/100 h e de 800 °C/100 h), usando técnicas como microscopia eletrônica de varredura (MEV) e difratometria de raios X (DRX), além do ensaio de microdureza Vickers para avaliar primariamente as propriedades mecânicas.

Metodologia

A Figura 1 traz o fluxograma do procedimento experimental utilizado no presente trabalho.

Figura 1 - Fluxograma do procedimento experimental.



Um lingote de 15 g de composição 48Nb15Fe13Ni12Cr12Al (%at.) foi fundido no forno a arco com cadinho de cobre eletrolítico refrigerado a água, sob atmosfera de argônio e eletrodo não consumível de tungstênio. Foram utilizadas matérias primas de elevada pureza pesadas em balança de precisão de 0,1 mg. Para garantir a homogeneidade química da liga, o processo de fundição foi repetido quatro vezes. Posteriormente, foi realizado um ensaio de oxidação preliminar em duas amostras, uma a 600 °C por 100 h e outra a 800 °C também por 100 h, no qual as amostras resistiram, caracterizando assim um tratamento térmico sem encapsulamento da amostra.

Para caracterização microestrutural, foi realizada inicialmente a preparação metalográfica a partir do seccionamento, embutimento, lixamento, com progressão da granulometria das lixas (400 → 2000), e

por fim o polimento utilizando suspensão de sílica coloidal (OPS). Todos esses processos foram auxiliados por microscopia óptica.

A estrutura cristalina e as fases presentes nas amostras foram definidas a partir da técnica de difratometria de raios X (DRX). Para o DRX, as amostras foram fragmentadas em pilão de aço e cominuídas utilizando um gral feito de ágata de modo a obter um pó. A identificação foi feita com uso do software PowderCell pela comparação dos resultados obtidos no DRX com microestruturas e estruturas cristalinas catalogadas por Villars e Calvert.

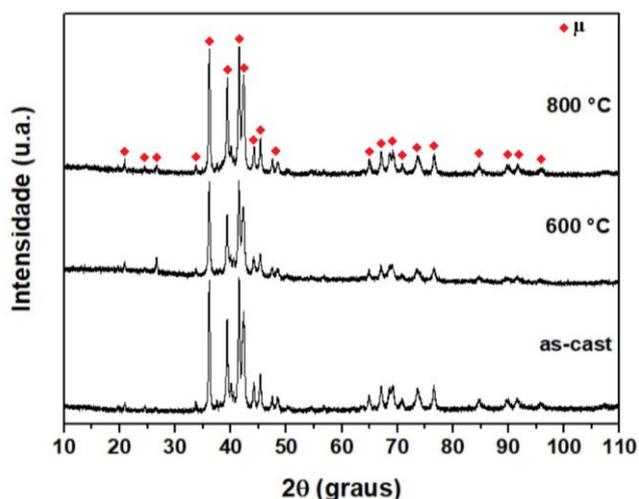
Para obter informações sobre a morfologia e distribuição das fases, foi utilizado o MEV e Espectroscopia por Dispersão de Elétrons (EDS). As composições globais medidas por EDS, foram feitas em área, enquanto que a composição das fases foram obtidas a partir da média de, ao menos, 3 medidas pontuais.

Para o ensaio de microdureza Vickers foram realizadas 15 medidas utilizando uma carga de 200 gf (1,96 N) e com tempo de 15 segundos cada.

Resultados e discussão

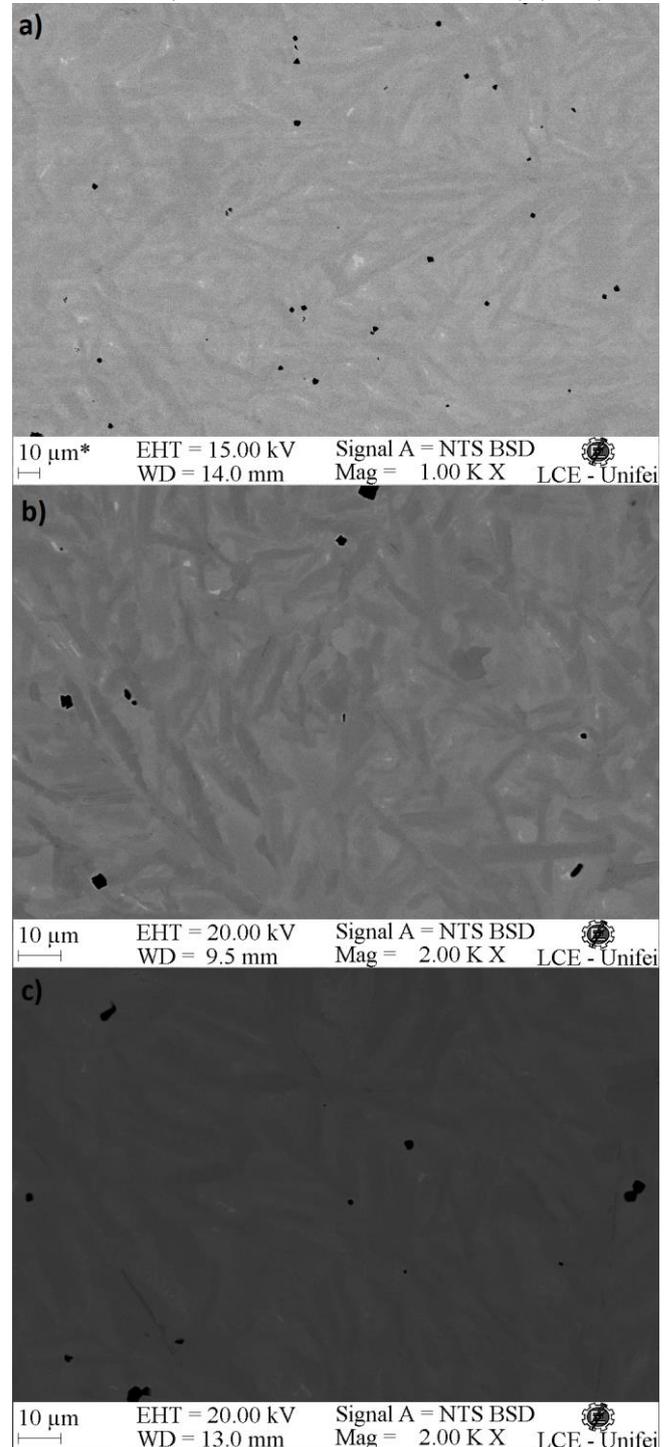
O DRX da liga 48Nb15Fe13Ni12Cr12A (%at.) nas condições bruta de fusão e tratada termicamente revelou a presença de uma estrutura puramente monofásica (μ), resultado esse já esperado, como mostra a Figura 1.

Figura 1 – Difratomogramas de raios X da liga comparando as condições bruta de fusão e tratada termicamente (600 °C/100 h e de 800 °C/100 h).



As micrografias da liga na condição bruta de fusão e tratada termicamente, Figura 2, mostram a presença de uma estrutura monofásica com pontos dispersos na matriz, configurando regiões pontuais não fundidas (provavelmente de nióbio).

Figura 2 – Micrografia da microestrutura da liga multicomponente na condição bruta de fusão e tratada termicamente (600 °C/100 h e de 800 °C/100 h) (a-b-c).



A composição química das amostras foram avaliadas por EDS e apresentadas na Tabela 1 para a condição bruta de fusão e tratada termicamente.

Tabela 1 – Composição química em %at por EDS da liga multicomponente na condição bruta de fusão e tratada

termicamente (600 °C/100 h e de 800 °C/100 h).

	Al	Cr	Fe	Nb	Ni
Esperada	12	12	15	48	13
Bruta	11,5	12,1	14,9	48,5	13,0
600 °C	11,2	12,2	14,8	49,4	12,4
800 °C	10,9	12,6	15	49,1	12,4

Nota-se que para ambas condições, devido a estrutura monofásica presente, há uma distribuição homogênea de todos os elementos em toda extensão da matriz.

As medidas de microdureza Vickers para a liga no seu estado bruto de fusão e tratada termicamente manteve-se em valores de dureza próximos de 800 Hv, devido a estrutura monofásica presente em todas as condições analisadas.

Conclusões

Através da análise e caracterização microestrutural da liga multicomponente 48Nb15Fe13Ni12Cr12Al nas condições bruta de fusão e tratada termicamente (600 °C/100 h e 800 °C/100 h) pode-se confirmar a formação de uma estrutura monofásica em ambas as condições e com uma distribuição homogênea dos elementos na matriz.

A partir dos resultados obtidos da difratometria de raios X observou-se a formação majoritária da fase μ em todas as condições da liga analisadas.

Com o teste de microdureza Vickers, a liga adquiriu um valor médio de 800 Hv nas condições bruta de fusão e tratada termicamente, devido a presença de uma estrutura completamente monofásica predominante nessas condições.

O presente trabalho indica que a liga multicomponente 48Nb15Fe13Ni12Cr12Al (%at.) apresenta uma microestrutura monofásica, de alta dureza, o que a torna interessante sob o ponto de vista estritamente microestrutural para continuação de sua caracterização através de técnicas mais avançadas.

Agradecimentos

Meus sinceros agradecimentos ao CNPq pelo apoio financeiro.

Referências

SENKOV, O. N. et al. **Refractory high-entropy alloys**. Intermetallics. 2010.

TSAI, M. H., et al. **A second criterion for sigma phase formation in high-entropy alloys**. Mater. Res. Lett., vol. 4 (2), p. 90-95, 2016.

WANG, Z.; GENC, A.; BAKER, I. **Direct versus indirect particle strengthening in a strong, ductile FeNiMnAlTi high entropy alloy**. Mater. Charact., vol. 132, p. 156-161, 2017.

WANG, W. R.; WANG, W. L.; YEH, J. W. **Phases, microstructure and mechanical properties of AlxCoCrFeNi high-entropy alloys at elevated temperatures**. J. Alloys Compd., vol. 589, p. 143-152, 2014.

YEH, M. C. G. J.; LIAW, P. K.; ZHANG, Y. **High-Entropy Alloys**. Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2016.