

Avaliação microestrutural da liga multicomponente eutética 34Ni7Nb16Cr17Fe26Al (% at.)

Ana Maria Pereira Ribeiro (IC)¹, Antonio Augusto A P Silva (PQ)¹

¹Universidade Federal de Itajubá.

Palavras-chave: Avaliação microestrutural. Ligas multicomponentes. Ligas para altas temperaturas.

Introdução

As ligas multicomponentes, também conhecidas como ligas de alta entropia foram afirmadas pela primeira vez pelo cientista taiwanês Jien-Wei Yeh. Com o aumento do número de elementos, maior é a entropia da mistura, aumentando a tendência de formação de uma estrutura do tipo solução sólida aleatória, com algumas propriedades desejáveis, tais como alta resistência mecânica, estabilidade de fases e resistência a oxidação. Assim foi desenvolvida essa nova classe de ligas compostas por cinco ou mais elementos em proporções equiatômicas ou quase equiatômicas¹.

Desde esse primeiro trabalho, tem havido um intenso interesse nessas ligas. Os pesquisadores desenvolvem-nas com uma vasta gama de possibilidades de composições e propriedades, incluindo alta resistência, dureza, resistência ao desgaste, estabilidade térmica e resistência à corrosão³⁻⁴. Diversas investigações são feitas para uma variedade de aplicações dessas ligas, incluindo aeroespacial, automotiva, biomédica e energética.

Entre as propriedades, será destacada a dureza das ligas multicomponentes. A distribuição aleatória de átomos nessas ligas dificulta o movimento das discordâncias, e consequentemente a deformação do material². Isso gera uma alta resistência e dureza entre essas ligas em geral.

No grupo de HEA's, foi confeccionada uma liga de composição equiatômica AlCrFeNiNb. A partir dessa liga, foram derivadas outras três com possibilidade e potencial de sucesso em aplicações quando submetido a altas temperaturas.

Uma dessas ligas decorrentes da original, é a 34Ni7Nb16Cr17Fe26Al (%at.), estudada nesse trabalho. O objetivo é a realização de análise microestrutural por meio de ensaios de investigação composicional, microestrutural, ou seja, identificação das fases, bem como as suas morfologias e distribuição (MEV). Foi realizado o estudo e ponderação da dureza da liga à temperatura ambiente para efeitos de estimativa de propriedades mecânicas e comparação com outras ligas e pesquisas.

Metodologia

Confeção das ligas por fusão a arco

Um lingote de composição Ni₃₄Nb₇Cr₁₆Fe₁₇Al₂₆ (%at.) foi confeccionado por fusão a arco em atmosfera de argônio. 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.

Caracterização Microestrutural

Para caracterização microestrutural, foram extraídas amostras do lingote no estado bruto de fusão utilizando disco de corte de precisão de diamante. A estrutura cristalina e as fases presentes na amostra foram definidas a partir da técnica de difratometria de raios X (DRX) juntamente com a microscopia eletrônica de varredura (MEV).

Para o DRX, a amostra foi fragmentada em pilão de aço e cominuída 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. A preparação da amostra teve início com o embutimento, e logo após, foi feito o lixamento manual e com progressão da granulometria das lixas (400 → 2000), e então o polimento da amostra embutida com suspensão de sílica coloidal (OPS).

Ensaio de microdureza Vickers

A mesma amostra que foi feita a microscopia, foi também empregada em um ensaio de dureza pelo método de dureza Vickers, a carga utilizada no ensaio de dureza foi de 4,96 N, fazendo medidas ao longo da seção transversal e longitudinal da amostra com

espaçamentos de 0,5 mm. A Figura 1 mostra as orientações das posições que foram feitas as medidas.

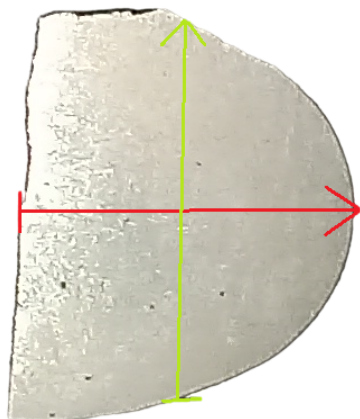


Figura 1 – Sentido de medição de microdureza..

Resultados e discussão

Análise Microestrutural

O resultado obtido por DRX da liga em análise é exibido na Figura 2. Através da sobreposição dos picos, foram identificadas as estruturas CCC e a estrutura C14.

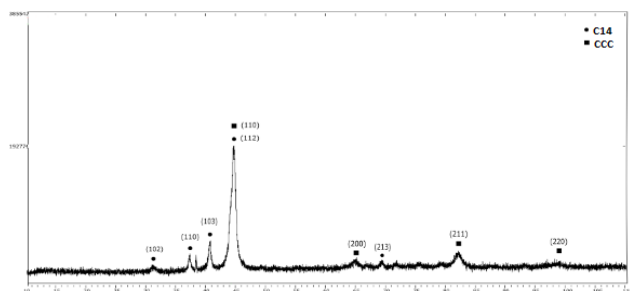


Figura 2 – Difratograma da liga 26Al16Cr17Fe7Nb34Ni no estado bruto de fusão.

A Figura 3 apresenta a micrografia (MEV/ERE) da liga em seu estado bruto de fusão, enquanto a Tabela 1 mostra os resultados das análises por EDS. Na análise de EDS global é possível observar um enriquecimento de Ni e um empobrecimento de Al, uma vez que este último elemento possui uma elevada pressão de vapor com tendência de evaporação durante a fusão à arco. Na micrografia é possível confirmar a presença de ao menos duas fases. Foram identificadas pela diferenciação das tonalidades na micrografia com base no número atômico dos elementos que compõem as regiões. As regiões mais claras possuem maior número atômico em relação às escuras. A micrografia de menor ampliação apresenta

uma microestrutura com características eutéticas, entretanto, na de maior ampliação há características de precipitação primária.

Os resultados do ensaio de EDS para composição pontual para cada fase são apresentados na Tabela 1. Foi observado que na região clara há uma distribuição quase uniforme dos elementos Fe, Cr, Ni e Nb, e com pequena proporção de alumínio, já na fase escura, há maior influência do níquel. Pela composição química, a região mais clara foi associada à fase CCC, enquanto que a região mais escura a fase C14.

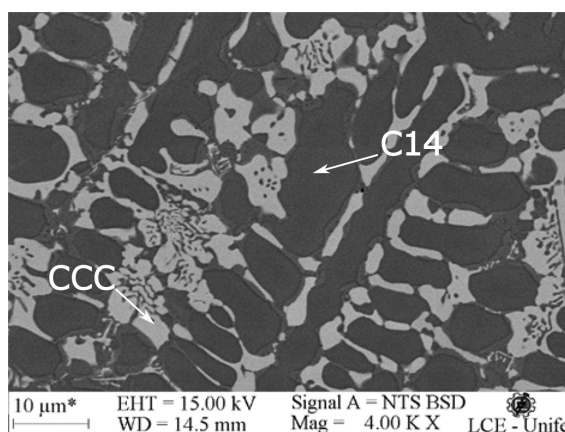
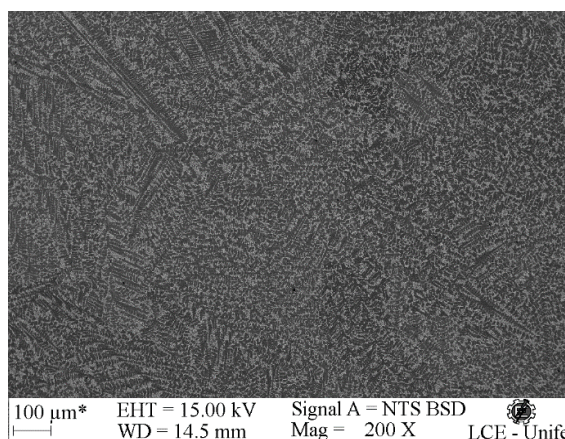


Figura 3 – Micrografias (MEV/ERE) da liga 26Al16Cr17Fe7Nb34Ni no estado bruto de fusão: (a) 200 x de magnificação e (b) 4000 x de magnificação.

	%at.				
	Al	Cr	Fe	Nb	Ni
Global (Pretendida)	26	16	17	7	34
Global (EDS)	24,5	16,7	16,3	6,8	35,7
Região Clara	11,4	27,5	24,8	14,7	21,8
Região Escura	35,8	7,1	9,6	1,2	46,4

Tabela 1 – Medidas composicionais (EDS) da liga 26Al16Cr17Fe7Nb34Ni no estado bruto de fusão.

Ensaio de Microdureza Vickers

Os valores dos resultados do ensaio foram exibidos de forma gráfica na Figura 4, e ficaram compreendidos entre 513 HV e 635 HV com média de 593 HV. O corte foi feito em uma metade de uma seção transversal do lingote, e a medição no ponto próximo ao centro da seção foi a de maior valor. Já nas medidas feitas nas extremidades do lingote, houve queda de aproximadamente 55 HV em relação à medida anterior. Esses valores são justificados pelo processo de confecção e solidificação do lingote. A diferença da taxa de resfriamento entre as extremidades e a região central resulta em diferenças estruturais e composicionais, além de deixar essa camada externa mais suscetível a apresentar defeitos.



Figura 4 – Ensaio de microdureza Vickers da liga 26Al16Cr17Fe7Nb34Ni no estado bruto de fusão.

Curva em vermelho: sentido latitudinal; Curva em verde: sentido longitudinal.

sinais de estrutura do tipo eutética quando menos ampliada, porém ao aumentar a escala de visualização, foram observados indícios de precipitação primária.

Foi observada uma média de dureza de 593 HV na amostra. A dureza variou dentro da amostra, sendo mais alta no centro da seção transversal do lingote e mais baixa nas extremidades. Essa variação pode ser atribuída às diferenças na taxa de resfriamento durante a solidificação do lingote. Essa disparidade destaca a importância de considerar a homogeneidade estrutural ao projetar aplicações específicas para essa liga.

Agradecimentos

Ao meu professor orientador pelas valiosas contribuições dadas durante todo o processo.

À Universidade Federal de Itajubá pela qualidade e excelência de ensino.

Ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica da UNIFEI pelo apoio através da concessão de bolsa de estudo.

Referências

1. Yeh, J.W et al. Nanostructured High-Entropy Alloys with Multiple Principal Elements: Novel Alloy Design Concepts and Outcomes. *Advanced Engineering Materials*, mai. 2004.
2. Gao, Michael et al. *High-Entropy Alloys: Fundamentals and Applications*. 1. ed. Springer Cham, 2016.
3. Doan, D.Q, Fang, T.H & Chen, T.H. Microstructure and composition dependence of mechanical characteristics of nanoimprinted AlCoCrFeNi high-entropy alloys. *Scientific Reports*, v. 11, jul. 2021.
4. Yong, Dong et al. A multicomponent AlCrFe2Ni2 alloy with excellent mechanical properties. *Materials Letters*, v. 169, p. 62-64, 2016.

Conclusões

Neste trabalho, a microestrutura e a dureza da liga de alta entropia eutética 34Ni7Nb16Cr17Fe26Al (%at.) foram investigadas. A identificação das fases cristalinas e a análise da composição química se mostraram fundamentais para a compreensão do comportamento do material. A liga mostrou possuir estrutura bifásica CCC e C14. Na análise da micrografia foi possível constatar