cbecimat26
26° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais
22 a 26 de novembro de 2026
Costão do Santinho
Florianópolis-SC
DEMa Departamento de Engenharia de Materiais - UFSCar

Influência do alumínio nas propriedades de oxidação da liga refratária multicomponente $Nb_{45}Ta_{25}Ti_{15}Hf_{15}$

Diogo Pedrino Braga[1], Danusa de Araújo Moura[1], Maria Eduarda Navarro[1], Guilherme dos Santos Vacchi[1], Carlos Alberto Della Rovere[1]

[1]Laboratório de Corrosão Munir Rachid, Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos-SP

Introdução

As ligas multicomponentes refratárias (RMAs) têm potencial para aplicações estruturais em altas temperaturas [1], mas seu uso é limitado pela baixa resistência à oxidação e pela formação de óxidos não protetores ou voláteis [2]. Entre elas, a liga $Nb_{45}Ta_{25}Ti_{15}Hf_{15}$ tem tenacidade à fratura muito alta à temperatura ambiente e boa resistência mecânica e à fluência em altas temperaturas, mas seu comportamento em oxidação é pouco estudado.

Objetivos

Aumentar a resistência à oxidação da liga $Nb_{45}Ta_{25}Ti_{15}Hf_{15}$ com um revestimento de alumínio aplicado por *pack cementation* (cementação por empacotamento). O Al foi escolhido por formar óxidos estáveis e protetores em temperaturas elevadas [3].

Metodologia

Tabela 1 – Composição química nominal (% at.)

Liga	Nb	Ta	Ti	Hf
$Nb_{45}Ta_{25}Ti_{15}Hf_{15}$	45,00	25,00	15,00	15,00

Etapa 1
Síntese e homogeneização



Fusão a arco (pureza > 99,8%)
Encapsulamento a vácuo em quartzo
Tratamento térmico: 1100 °C por 48 h, resfriamento em água

Etapa 2
Pack cementation

Mistura (% massa): 45% Al, 45% Al_2O_3 (inerte) e 10% NH_4Cl (ativador)
Difusão: 950 °C por 4 h, atmosfera inerte
Meta: superfície rica em Al

Etapa 3
Oxidação cíclica

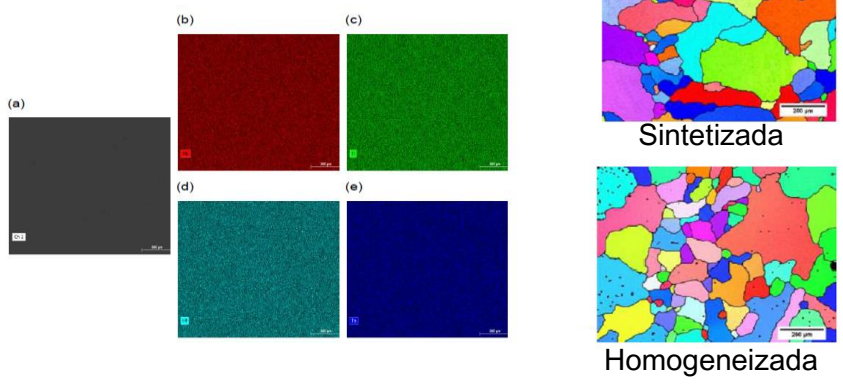


Temperatura: 1000 °C
Duração: até 100 h
Pesagens: 1, 2, 4, 8, 12, 24, 48 e 100 h

Etapa 4
Caracterização

DRX: identificação de fases
MEV-EDS/EBSD: composição química e microestrutura

Resultados e Discussão



Liga	Nb	Ta	Ti	Hf
$Nb_{45}Ta_{25}Ti_{15}Hf_{15}$	43,88	25,69	15,45	14,99

Figura 1 – Mapeamento elementar e composição química (% at.) por MEV/EDS e mapas de orientação por MEV/EBSD da liga antes e após a homogeneização.

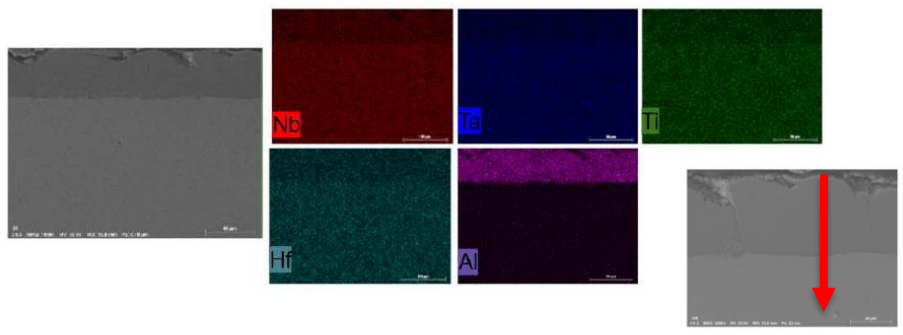
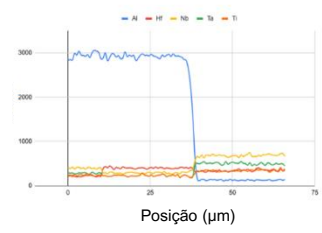


Figura 2 – Mapas elementares e perfil de composição em linha (seta) por MEV/EDS após a aluminização.



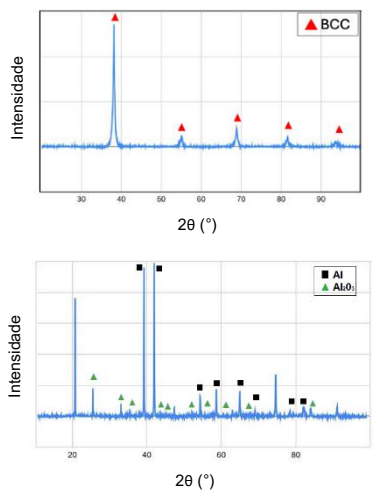


Figura 3 – Padrões de DRX da liga antes (acima) e após (abaixo) a aluminização.

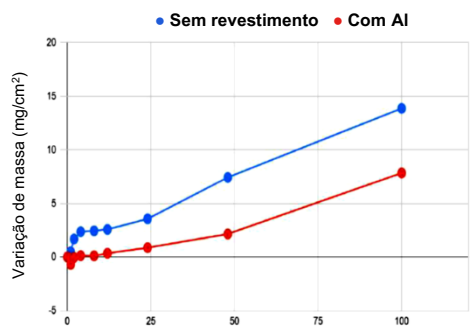


Figura 4 – Variação de massa em função do tempo de exposição: sem revestimento (azul) e com revestimento de Al (vermelho).

Conclusões

O revestimento de Al aplicado por *pack cementation* aumentou a resistência à oxidação da liga $Nb_{45}Ta_{25}Ti_{15}Hf_{15}$. Após 100 h de exposição, o ganho de massa das amostras revestidas foi cerca de 40% menor que o das amostras sem revestimento.

Referências e Agradecimentos

[1] MIRACLE, D. B.; SENKOV, O. N. A critical review of high entropy alloys and related concepts. **Acta Materialia**, v. 122, p. 448-511, 2017.

[2] GORR, B. *et al.* Current status of research on the oxidation behavior of refractory high entropy alloys. **Advanced Engineering Materials**, v. 23, p. 2001047, 2021.

[3] SHEIKH, S. *et al.* Aluminizing for enhanced oxidation resistance of ductile refractory high-entropy alloys. **Intermetallics**, v. 103, p. 40-51, 2018.

ppgcem Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais
LC
CNPq Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
FAPESP Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
CAPES