cbecimat26
26° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais
22 a 26 de novembro de 2026
Costão do Santinho
Florianópolis-SC
EEL-USP
GRUPO PHASE

Avaliação do efeito de Nb e Ta na oxidação de ligas modelo do sistema Ni-Cr-Al-X (X=Nb,Ta)

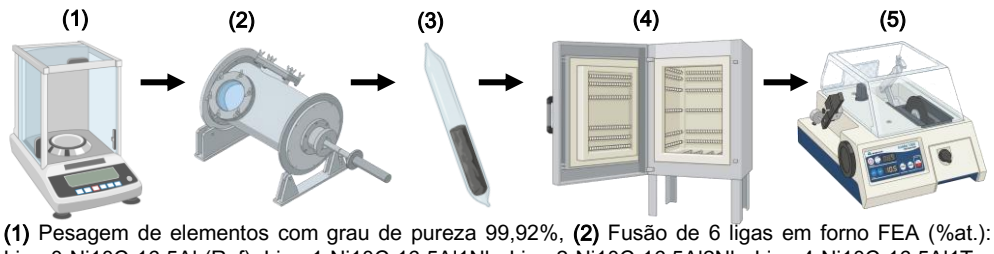
Monteiro, G. L. M[1]; Alkmin, L. B[2]; Chaia, N[3]; Coelho, G. C[4]; Nunes, C. A[5]

[1 3 4 5] Universidade de São Paulo (USP) – Escola de Engenharia de Lorena – Departamento de Engenharia de Materiais (EEL/DEMAR);
[2] Centro Federal de Educação Tecnológica (CEFET) – Angra dos Reis, Rio de Janeiro

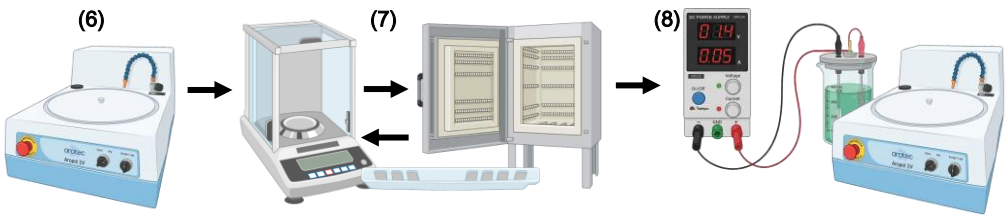
Introdução

Superligas à base de níquel são utilizadas em componentes estruturais para aplicações em altas temperaturas, devido à elevada resistência mecânica e à oxidação (Reed, 2006). Estudos de Alckimin *et al.* (2021) e Baldan *et al.* (2015) avaliaram a substituição de Ta por Nb na resistência à oxidação nas ligas MAR-M246 e MAR-M247, mas a complexidade química das superligas comerciais dificulta compreender seus efeitos no comportamento de oxidação. Assim, este trabalho tem como objetivo investigar ligas modelo, Ni-Cr-Al-X (X = Nb, Ta), de menor complexidade visando compreender os efeitos desses elementos, no processo de oxidação a 900°C por 1000h.

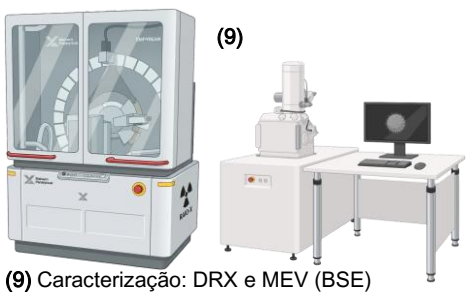
Procedimentos experimentais



(1) Pesagem de elementos com grau de pureza 99,92%, **(2)** Fusão de 6 ligas em forno FEA (%at.): Liga 0-Ni10Cr16,5Al (Ref), Liga 1-Ni10Cr16,5Al1Nb, Liga 2-Ni10Cr16,5Al2Nb, Liga 4-Ni10Cr16,5Al1Ta, Liga 5-Ni10Cr16,5Al2Ta, Liga 6-Ni10Cr16,5Al3Ta, **(3)** Encapsulamento dos lingotes, **(4)** Tratamento térmico (1150°C/7dias), **(5)** Corte



(6) Lixamento(P600), **(7)** Pesagem e repesagem das amostras, ensaio de oxidação pseudo-isotérmica ao ar (900°C/1000h), **(8)** Eletrodeposição de níquel, Lixamento (P2400) e Polimento (sílica coloidal)



(9) Caracterização: DRX e MEV (BSE)

Resultados

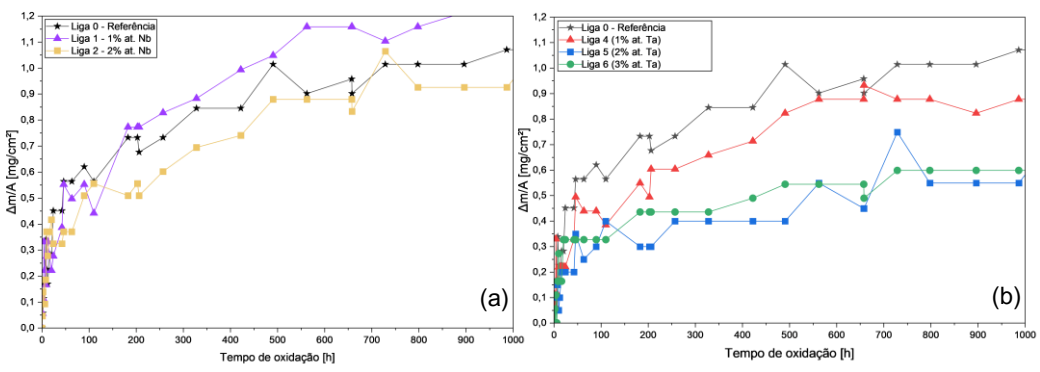


Figura 1. Variação de massa específica em função do tempo de oxidação (a) ligas com Nb; (b) ligas com Ta

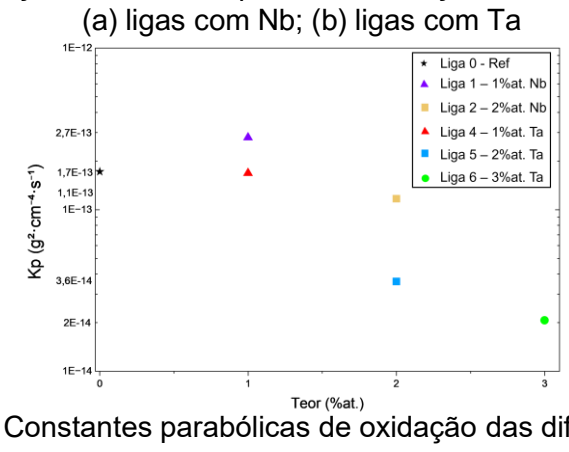


Figura 2. Constantes parabólicas de oxidação das diferentes ligas

- Micrografias (MEV-BSE) das seções transversais das ligas após 1000 horas de oxidação a 900°C

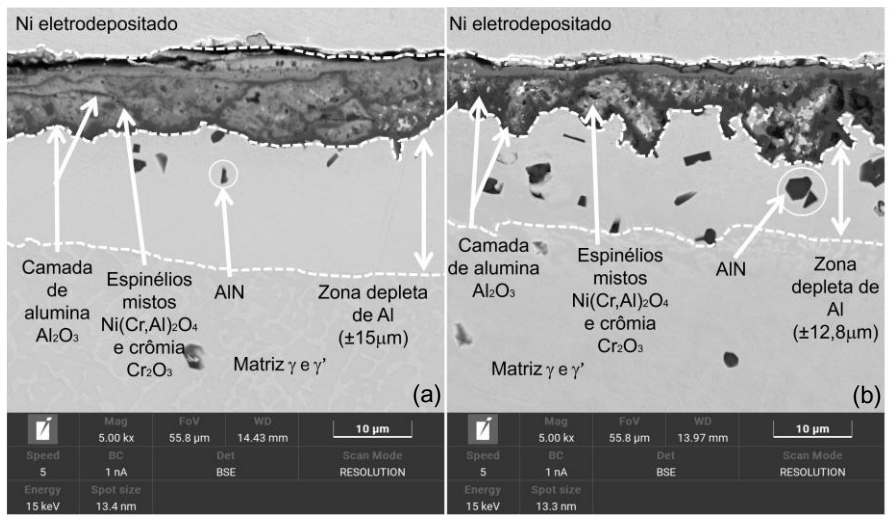


Figura 3. (a) Liga 0 – Referência; (b) Liga 4 (1%at. Ta)

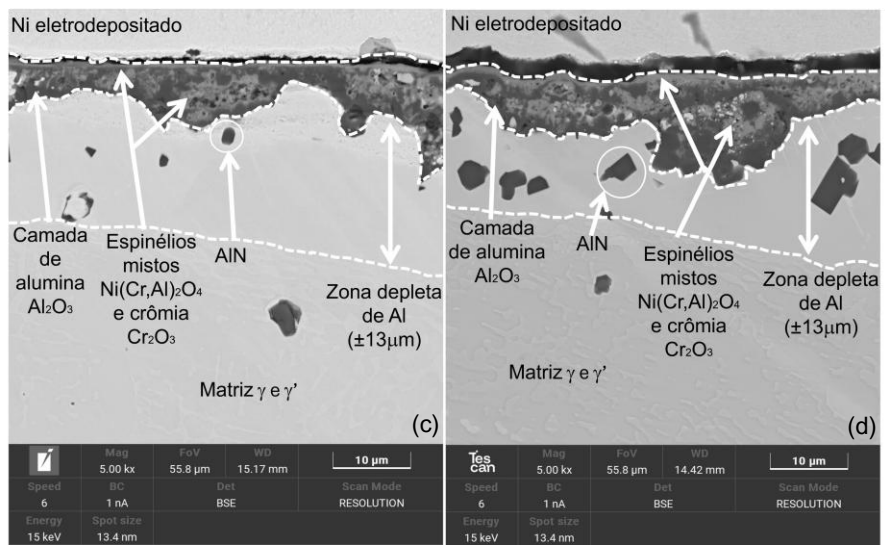


Figura 4. (c) Liga 1 (1%at. Nb); (d) Liga 2 (2%at. Nb)

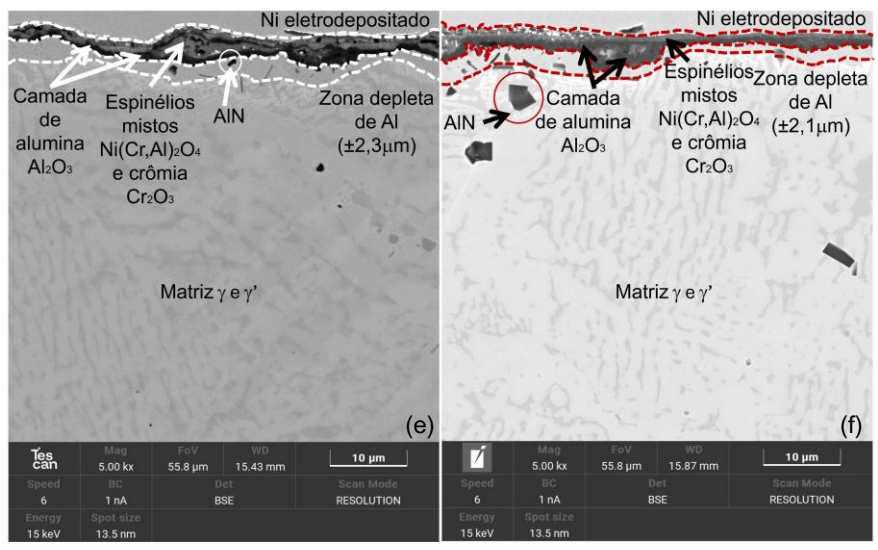


Figura 5. (e) Liga 5 (2%at. Ta); (f) Liga 6 (3%at. Ta)

Conclusões

As ligas contendo Ta apresentaram as menores espessuras das camadas de óxidos e menores valores das contantes parabólicas de oxidação (Kp), quando comparadas às ligas com Nb e a de referência, após a oxidação a 900°C por 1000h. O efeito da adição de Ta nas ligas, pode estar relacionado à maior diminuição da velocidade de crescimento dos óxidos externos, constituídos por espinélios mistos $Ni(Cr,Al)_2O_4$ + Cr_2O_3, e/ou ao surgimento da camada contínua de Al_2O_3 em tempos mais curtos, diminuindo o dano geral causado pela oxidação.

Referências bibliográficas

ALKMIN, L. B. *et al.* High temperature oxidation behavior of conventional and Nb-modified MAR-M246 Ni-based superalloy. **Metallurgical and Materials Transactions A**, v. 52, n. 6, p. 2589–2600, 2021.

BALDAN, R. *et al.* Oxidation behavior of the niobium-modified MAR-M247 superalloy at 1000 °C in air. **Oxidation of Metals**, v. 83, n. 1–2, p. 151–166, 2015.

REED, R. C. **The Superalloys as High-Temperature Materials**. New York: Cambridge University Press, 2006, p. 1–390

Agradecimentos

USP PPGEM CAPES FAPESP