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

O estudo dos efeitos de tratamentos térmicos na microestrutura e na propriedade mecânica de aços maraging modificados com Nb e Ti

Guilherme Luis França Schmalz[1]; Miloslav Béreš[1]; Hamilton Ferreira Gomes de Abreu[1]

[1] Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza-CE

Introdução

Os aços *maraging* são ligas Fe-Ni (~18% Ni) de baixo carbono e alta resistência, endurecidas pela precipitação de intermetálicos no envelhecimento. Aplicações vão de peças aeronáuticas a centrífugas de enriquecimento de urânio.

A adição de **Ti** e **Nb** é uma via de baixo custo para otimizar das propriedades: o Ti fortalece a solução sólida, e o Nb é um refinador de grão austenítico ainda pouco estudado nesses aços.

Objetivos

Analisar o efeito da temperatura de solubilização, seguida de envelhecimento, na microestrutura e na dureza de três aços maraging modificados com Nb e Ti, avaliando:

- Dureza e fases presentes (HRC, DRX)
- Morfologia e tamanho de grão (MO, MEV/EBSD)
- Reconstrução da austenita prévia.

Metodologia

Três ligas tipo maraging 300 (fundição a plasma; laminadas a 1220 °C) com Ti e Nb variados:

Tabela 1. Composição química das ligas (%)

Liga	Ni	Co	Mo	Si	Ti	Nb	Fe
A (Ti)	18,46	8,98	4,98	1,04	0,71	–	bal.
B (Nb+Ti)	18,63	9,01	5,01	1,33	0,40	0,79	bal.
C (Nb)	18,29	9,08	5,11	1,73	–	1,52	bal.

Solubilização
810 a 1210 °C (9 temp.)
1 h · resfriamento ao ar

→

Envelhecimento
480 °C
3 h · resfriamento ao ar

Caracterização: dureza Rockwell C, microscopia ótica, MEV/EBSD e reconstrução da austenita prévia no MTEX (relação K-S).

Resultados e Discussão

Dureza: o envelhecimento elevou a dureza em **~50%** (de 34–36 HRC como recebido para **~45–55 HRC**). Máximo na liga Ti a 810 °C e mínimo na liga Ti a 1110 °C; a solubilização isolada teve efeito pequeno.

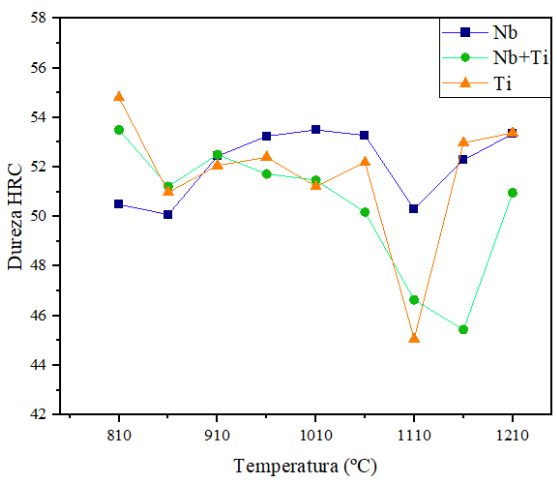


Figura 1. Dureza HRC × temperatura de solubilização (solubilizado e envelhecido).

Grão: o **Nb refina a austenita prévia**: nas ligas com Nb o grão não cresce até 960 °C e, a 1060 °C, o grão da amostra A é cerca de 4x maior que em C.

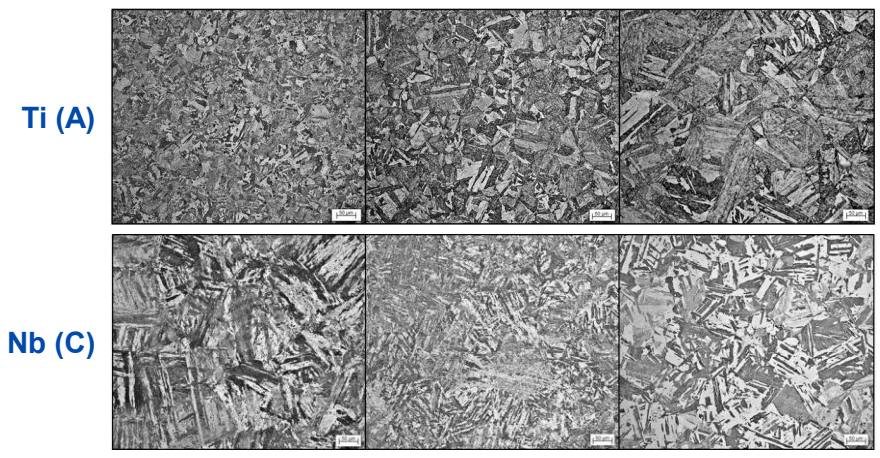


Figura 2. Micrografias ópticas das ligas solubilizadas a 860, 960 e 1060 °C; barra = 50 µm.

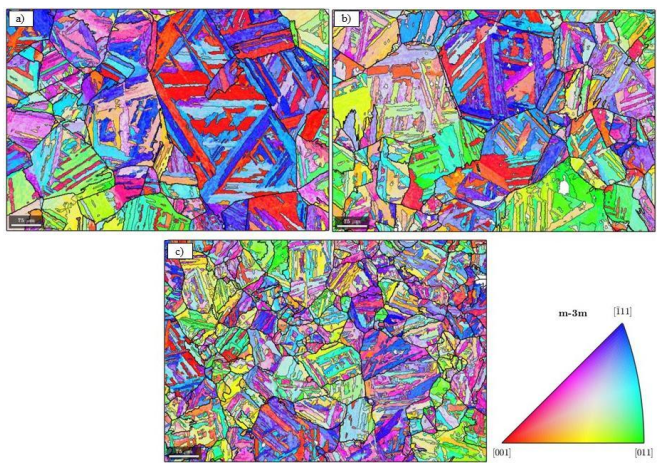


Figura 3. Austenita prévia (EBSD/MTEX), 1060 °C + envelhecimento: a) Ti, b) Nb+Ti, c) Nb.

Conclusões

- O envelhecimento elevou a dureza em cerca de 50%; a solubilização teve pouco efeito sobre ela.
- Microestrutura martensítica (α′ CCC); austenita retida em baixa intensidade apenas nas ligas com Nb em altas temperaturas.
- Tamanho de grão Nb < Nb+Ti < Ti (~4×): o Nb controla o crescimento de grão mais que o Ti.

Referências e Agradecimentos

LIMA FILHO, V. X. Influence of solution annealing on microstructure and mechanical properties of maraging 300 steel. 2016.
PARVINIAN, S.; SIEVERS, D. E. Evaluation of the influence of B and Nb microalloying on the microstructure and strength of 18% Ni maraging steels (C350). Acta Materialia, 2021.
LEE, D. G. et al. The influence of niobium and aging treatment in the 18% Ni maraging steel. J. Mater. Process. Technol., 2005.

Agradecimentos: ao LACAM e à Central Analítica da UFC, pelo apoio na preparação das amostras e nas análises.