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

Efeito do Teor de Nióbio e da Taxa de Resfriamento na Temperatura (Ms) em Aço Maraging Investigado por Dilanometria e DSC

Marina Silva Peres[1], Maria Veronica Goncalves Rodrigues[1], Joao Carlos Ferreira[1], Luciano Alexis Figueroa Maturana[2], Marcos Natan da Silva Lima[3], Jhonatan Peres de Sousa[1], Hamilton Ferreira Gomes de Abreu[3], Fernanda Roberta Marciano[1], Samuel Filgueiras Rodrigues[4]
1. Universidade Federal do Piauí (UFPI) - Programa de Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais, Brasil
2. Universidade de Santiago do Chile (USACH) - Departamento de Engenharia Metalúrgica , Chile
3. Universidade Federal do Ceará - Programa de Graduação em Tecnologia e Ciência dos Materiais, Brasil
4. Instituto Federal do Maranhão (IFMA) - Programa de Graduação em Tecnologia e Ciência dos Materiais, Brasil

Email: peresmarina@acad.ifma.edu.br

Introdução

Os *Aços Maraging* são ligas de alta resistência, fortalecidas pela adição de titânio, alumínio e cromo, o que proporciona uma excelente combinação de resistência e tenacidade. O fortalecimento decorre do endurecimento por precipitação, obtido após um tratamento de solubilização seguido de envelhecimento [1,2]. Essas ligas são amplamente utilizadas em diversas aplicações industriais, incluindo componentes aeroespaciais, eixos de alto desempenho, motores elétricos e aeronaves [3-6].

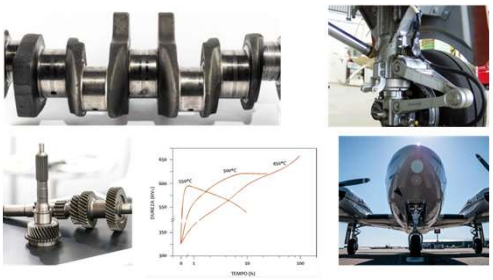


Figura 1. Aplicações típicas e resposta ao envelhecimento de aços maraging.

Objetivos

Determinar a temperatura de início da formação de martensita (Ms) sob diferentes condições de resfriamento em aços maraging com teores variáveis de nióbio – 1, 2 e 3% em peso – , utilizando dilatometria em um simulador termomecânico Gleeble 563.

Metodologia

- ✓ Material: Aço Maraging 300 comercial, sem Nb.
- ✓ Processamento: Adição de Nb, refusão, fundição em lingotes e laminação a quente.
- ✓ Dilatometria: Determinação da temperatura de início da transformação martensítica (Ms) pelo método das tangentes.
- ✓ Caracterização microestrutural: Microscopia óptica (MO) e eletrônica de varredura (MEV).
- ✓ Análise termodinâmica: Cálculos no Thermo-Calc para estimar as frações volumétricas das fases em função da temperatura.
- ✓ Transformações de fase: Elaboração de diagramas CCT para diferentes taxas de resfriamento.

Tabela 1 - Composição química do aço comercial Maraging 300

Elements [wt%]	C [%]	Ni [%]	Co [%]	Mo [%]	Ti [%]	Si [%]	Al [%]	S [%]	Fe
Maraging 300	0,05	18,5	10,5	4,32	0,85	0,1	0,32	0,03	Bal.

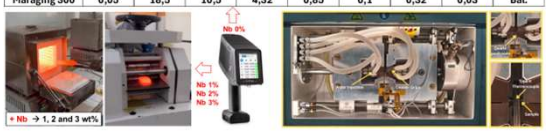


Figura 2. Roteiro de fundição com adição de Nb, laminação a quente subsequente para romper a estrutura de fundição, composições químicas após a adição de Nb e experimentos de dilatometria utilizando o equipamento Gleeble 563.

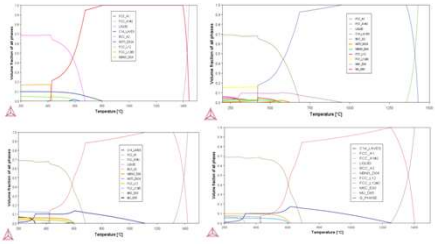


Figura 3. Fração de fases em equilíbrio versus temperatura (Thermo-Calc) para aço Maraging com teores de Nb de **(a)** 0, **(b)** 1.0, **(c)** 2.0, e **(d)** 3.0 wt%.

Resultados e Discussão

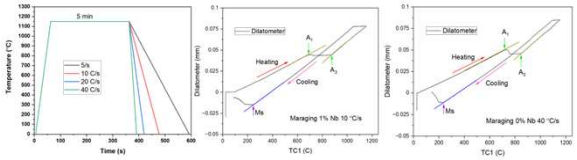


Figura 4. Ciclos térmicos de dilatometria para aços maraging, apresentando perfis de temperatura em função do tempo e a dilatação em função da temperatura

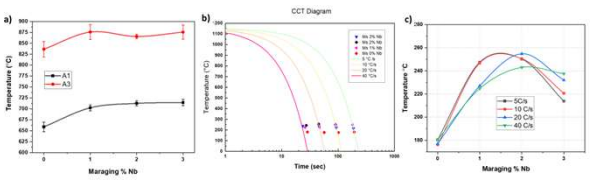


Figura 5. (a) Temperaturas A_1 e A_3 durante o aquecimento em função do teor de Nb (0-3% em peso); (b) diagramas CCT calculados para taxas de resfriamento de 5, 10, 20 e 40 °C/s, com a indicação de Ms; e (c) Ms em função do teor de Nb para essas taxas de resfriamento.

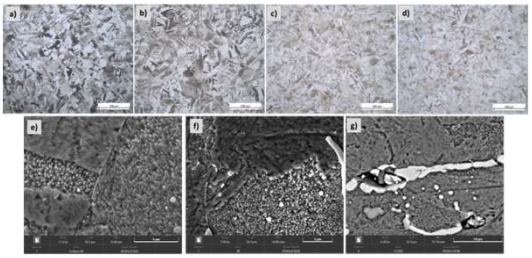


Figura 6. Microestrutura do material após ensaios de dilatometria. (a) 1% Nb, 10 °C/s; (b) 1% Nb, 40 °C/s; (c) 3% Nb, 10 °C/s; (d) 3% Nb, 40 °C/s; (e) MEV 3% Nb, 10 °C/s; (f) MEV 3% Nb, 40 °C/s e (g) MEV 3% Nb, 5 °C/s.

Conclusões

- ✓ Influência do Nb e da taxa de resfriamento: Afetam significativamente a temperatura Ms e a estabilidade da austenita.
- ✓ Taxas de 5 e 10 °C/s: A Ms aumenta com o teor de Nb até 2%, mas diminui com 3% de Nb.
- ✓ Taxas de 20 e 40 °C/s: Apresentam tendência semelhante, porém com menor aumento da Ms.
- ✓ Efeito de 3% de Nb: Promove a redução da Ms, sendo menos acentuada em taxas de resfriamento mais elevadas.

Referências e Agradecimentos

1 A. Markfeld, A. Rosen, The effect of reverted austenite on the plastic deformation of maraging steel, Mater. Sci. Eng. 46 (1980) 151-157.
2 A.G. Reis, D.A.P. Reis, A.J. Abdalla, J. Otubo, High-temperature creep resistance and effects on the austenite reversion and precipitation of 18 Ni (300) maraging, Mater. Charact. 107 (2015) 350-357.
3. J. J. Moraes da Silva, I. F. de Vasconcelos, F. I. Sousa da Silva, T. S. Ribeiro, H. F. Gomes de Abreu, An Atomic Redistribution Study of the 440°C Ageing Kinetics in Maraging-300 Steel, Mater. Res. 29 (2019) e20180230.

Agradecemos à *FAPEMA*, *CAPES*, *CNPQ*, *IFMA*, e ao *LABENSAIOS* pelo apoio, incentivo e suporte fundamentais para a realização desta pesquisa. O auxílio e a colaboração dessas instituições foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho e para o fortalecimento da pesquisa científica.

FAPEMA
Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão
INSTITUTO FEDERAL
Maranhão
LABENSAIOS