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

ESTUDO DA ADIÇÃO DE CÉRIO SOBRE AS VARIÁVEIS TÉRMICAS DE SOLIDIFICAÇÃO, DUREZA, CONDUTIVIDADE ELÉTRICA E MACROESTRUTURA DA LIGA DE ALUMÍNIO AA6201

Rafael Ryuji Wada Siqueira[1]; Givanildo Alves dos Santos[1]; Rogerio Teram[1]; Maurício Silva Nascimento[1]; Marcio Rodrigues da Silva[2]; Flávia Gonçalves Lobo[2]; Vinicius Torres dos Santos[2]; Daniel Ayarroio Seixas[2]
[1] Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo; [2] Termomecanica São Paulo S. A.

Introdução

A liga AA6201 é utilizada em condutores elétricos por combinar elevada relação resistência mecânica/peso, resistência à corrosão e condutividade elétrica adequada. Na solidificação unidirecional ascendente, a velocidade da isoterma *liquidus* (V_L), a taxa de resfriamento (T_R) e o gradiente térmico (G_L) influenciam a macro e microestrutura e, assim, as propriedades do material. Neste trabalho, avaliou-se a liga AA6201 com e sem adição de cério (Ce), relacionando as variáveis térmicas às alterações macroestruturais, à dureza e à condutividade elétrica.

Objetivos

Avaliar o efeito da adição de cério nas variáveis térmicas de solidificação (V_L, T_R e G_L), na dureza, na condutividade elétrica e na macroestrutura da liga AA6201, comparando amostras com e sem adição de Ce obtidas por solidificação unidirecional ascendente.

Metodologia

Foram preparados dois lingotes da liga AA6201, um sem adição de Ce e outro com adição de cério. Após a solidificação, a composição química foi determinada por ICP-OES na base dos lingotes conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição química dos lingotes obtidos.

Composição (% massa)	Ce	Mg	Si	Fe	Cu	Al	Outros
AA6201 s/ Ce	-	0,55	0,21	0,05	0,02	Restante	< 0,01
AA6201 c/ Ce	1,14	0,51	0,18	0,03	0,03	Restante	< 0,01

As ligas foram fundidas em lingoteira de aço inoxidável revestido internamente com cimento refratário em forno elétrico e submetidas à solidificação unidirecional ascendente, com extração de calor pela base de material aço SAE 1020 refrigerada a água. Na condição com Ce, a fusão ocorreu sob atmosfera de argônio.
A evolução térmica foi monitorada por termopares tipo K a 4, 8, 12, 16, 35 e 53 mm da interface metal/base, permitindo determinar V_L, T_R e G_L. Após a solidificação, foram realizadas análises macroestruturais, de dureza Vickers (HV3) e condutividade elétrica (%IACS).

Resultados e Discussão

A adição de Ce reduziu a V_L em todas as posições analisadas e alterou T_R e G_L. A dureza média permaneceu praticamente inalterada, enquanto a condutividade elétrica foi reduzida em aproximadamente 12% (Tabela 2).

Tabela 2 – Valores da variáveis térmicas e propriedades dos lingotes obtidos.

Parâmetro	AA6201 s/ Ce	AA6201 c/ Ce
V_L (mm/s)	$V_L = 0{,}83 \cdot P^{-0.38}$ $R^2 = 0{,}99$	$V_L = 0{,}72 \cdot P^{-0.41}$ $R^2 = 0{,}99$
T_R (°C/s)	$T_R = 21{,}72 \cdot P^{-0.92}$ $R^2 = 0{,}98$	$T_R = 11{,}57 \cdot P^{-0.81}$ $R^2 = 0{,}98$
G_L (°C/mm)	$G_L = 30{,}05 \cdot P^{-0.62}$ $R^2 = 0{,}95$	$G_L = 18{,}34 \cdot P^{-0.47}$ $R^2 = 0{,}91$
Dureza a 4 mm (HV3)	42,0 ± 1,1	38,8 ± 1,3
Condutividade Base (%IACS)	55,55	48,68

Macroestruturalmente, a liga sem cério apresentou predominância colunar, enquanto a liga com cério exibiu menor direcionalidade e maior presença de regiões equiaxiais indicando refinamento macroestrutural (Figura 1).

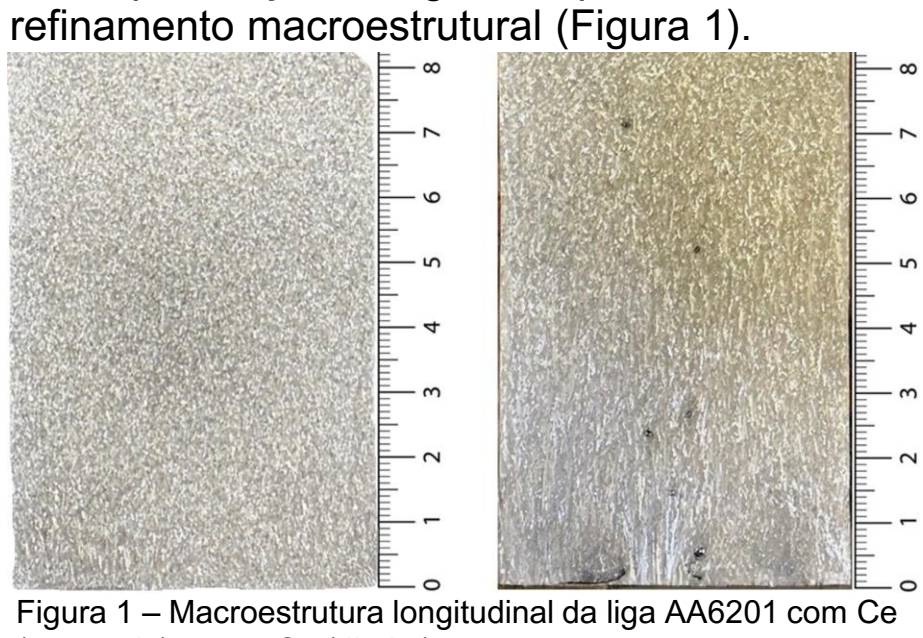


Figura 1 – Macroestrutura longitudinal da liga AA6201 com Ce (esquerda) e sem Ce (direita).

Conclusões

A adição de cério modificou o comportamento térmico de solidificação da liga AA6201 e alterou sua macroestrutura, com redução da direcionalidade, menor extensão da zona colunar e maior ocorrência de regiões equiaxiais. A dureza não apresentou variação expressiva, enquanto a condutividade elétrica foi reduzida em aproximadamente 12%. Os resultados indicam que o cério promove refinamento macroestrutural, porém com impacto na condutividade elétrica da liga.

Referências e Agradecimentos

Ao IFSP-SPO, pelo suporte e infraestrutura e à Termomecanica São Paulo S. A., pela doação e ensaios da liga AA6201.

CZERWINSKI, F.; AMIRKHIZ, B. S. On the Al–$Al_{11}Ce_3$ eutectic transformation in aluminum–cerium binary alloys. Materials, v. 13, 4549, 2020.
TERAM, R. Influência das variáveis térmicas de solidificação na microestrutura e dureza da liga Cu-14Al-5Ni-5Fe. Dissertação (Mestrado) – IFSP-SPO, 2019.
HAN, M. *et al*. A review on microstructure control and performance enhancement of aluminum alloys via directional solidification. Metals, v. 16, 24, 2026.