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

Efeito das Adições de Cr e Zr na Cinética de Solidificação e na Morfologia de Intermetálicos de Ferro em Ligas Al-Si Recicladas

Sérgio Luiz Telles Bartex[1]; Tainara Zanin[1]; Igor Zimpel[1]; Vinicius Karlinski de Barcellos[1]
1.Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS / e-mail: bartex@ufrgs.br

Introdução

A reciclagem do alumínio economiza até 95% de energia comparada à produção primária, mas enfrenta o desafio técnico do acúmulo progressivo de Ferro (Fe) [1]. Quando os teores de Ferro superam 0,5% em ligas do sistema Al-Si, ocorre a precipitação da fase intermetálica acicular (Al5FeSi), cujas fases aciculares (formato agulhas) concentram tensões e reduzem drasticamente a resistência mecânica do material [2]. Para mitigar esse problema, este trabalho propõe uma estratégia de otimização metalúrgica baseada em adições controladas de Cromo (Cr) e Zircônio (Zr).

Objetivos

O objetivo central é avaliar o efeito modificador do Cr na morfologia das fases de ferro e o papel do Zr como agente refinador de grão e estabilizador microestrutural, visando a recuperação das propriedades mecânicas sem a necessidade de diluição da sucata com alumínio primário de alto custo.

Metodologia

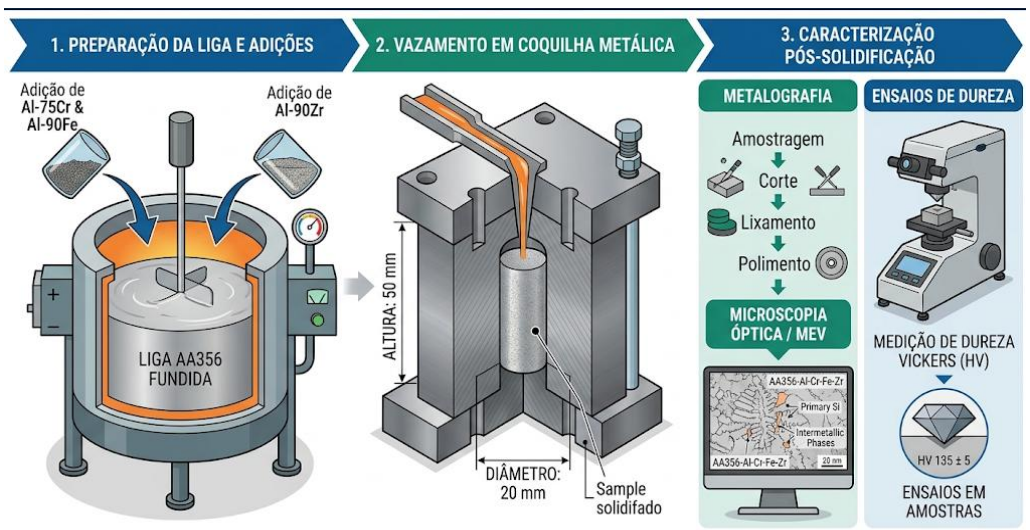


Figura 1. Procedimento experimental utilizado.

Adições de Cr e Fe respeitaram a razão estequiométrica de 1Cr/2Fe. A microadição de Zr objetivou realçar o refinamento das estruturas [3]. Foi aplicado o método CCTA (*Colling Curve Thermal Analisys*) e mircoscopia óptica, além de testes de Dureza Brinell (HB) para caracterizar as amostras. A Tabela 1 mostra a composição química das ligas produzidas.

Composição química das ligas (% em massa)

	Si	Mg	Fe	Cr	Mn	Ni	Zr	Ti	Cr/Fe
A	6,73	0,31	0,15	0,01	0,11	0,22	0,003	0,18	0,07
B	6,88	0,28	0,31	0,14	0,11	0,21	0,003	0,16	0,45
C	6,60	0,33	0,30	0,15	0,10	0,20	0,012	0,17	0,50
D	6,68	0,29	0,70	0,42	0,10	0,19	0,011	0,15	0,60

Tabela 1. Composição química das ligas testadas.

Resultados e Discussão

A figura 2 apresenta as microestruturas das amostras.

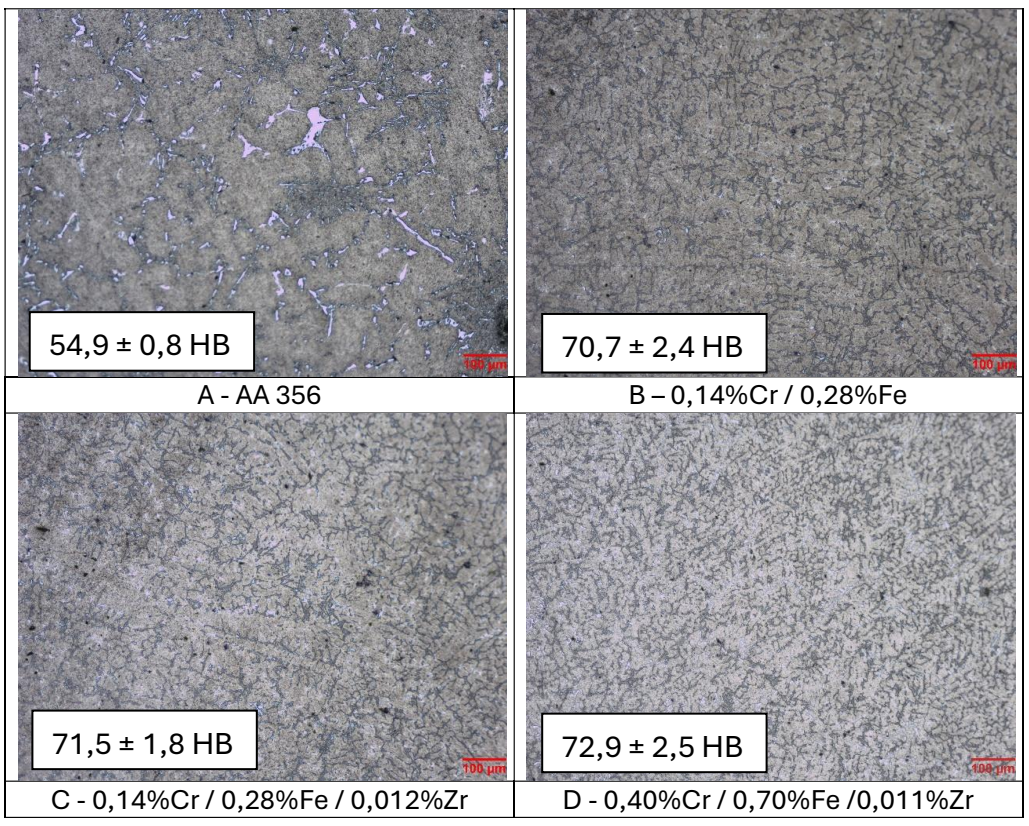
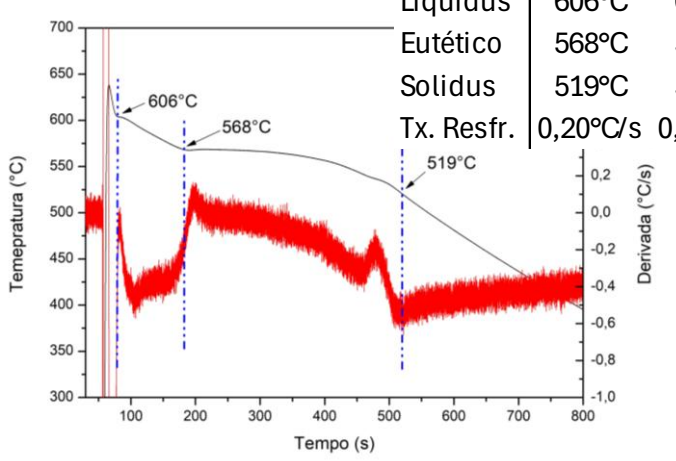


Figura 2. Microestruturas e dados de dureza. 100x de aumento. Dureza Brinell (HB).

Temp.	A	B	C	D
Liquidus	606°C	606°C	608°C	605°C
Eutético	568°C	570°C	569°C	568°C
Solidus	519°C	520°C	520°C	521°C
Tx. Resfr.	0,20°C/s	0,18°C/s	0,19°C/s	0,21°C/s



Resultado CCTA

Figura 3. Resultados da análise térmica via CCTA.

Os resultados indicam que a adição de Cr refinou a microestrutura da liga AA356, mitigando a formação da fase β-Al5FeSi. As durezas mostraram progressivo avanço. A análise térmica não captou alterações significativas nas temperaturas de transformação e a micro adição de Zr não foi perceptível com as técnicas utilizadas. Na microscopia óptica não foi possível visualizar a formação das fases Al3Zr. Análises de MEV e EDS serão realizadas previamente.

Conclusões

Os resultados preliminaries mostram que a adição de Cr causa um refinamento estrutural na liga AA356 contaminada com Fe, melhorando a distribuição das fases e contribuindo com aumento de dureza na liga. A micro adição de Zr não teve efeito perceptível com as técnicas utilizadas.

Referências e Agradecimentos

[1] PEREIRA, A.P. FROM CAN TO SHEET: A CRITICAL REVIEW OF ALUMINUM CAN RECYCLING PROCESSES, TECHNOLOGIES, AND SUSTAINABILITY DIMENSIONS (2020–2025), Engenharias, V. 29, Ed. 151. 2025. DOI: 10.69849/revistaft/pa10202510261019.
[2] CAO, X., CAMPBELL, J. MORPHOLOGY OF B-AL5FESI PHASE IN AL-SI CAST ALLOYS. Materials Transaction, 47(5):1303-1312. 2006. DOI: 10.2320/matertrans.47.1303.
[3] ZHOU, H. et. al. THERMOMECHANICAL-ROUTE-DEPENDENT MICROSTRUCTURE EVOLUTION AND STRENGTH–DUCTILITY BALANCE OF A SC/ZR-MICROALLOYED AL–MG–SI ALLOY, Journal of Alloys and Compounds, 1081, 2026. https://doi.org/10.1016/j.msea.2026.151100.