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

Estudo da formação de fases intermetálicas em aços-ferramenta utilizados no processo HPDC e imersos em alumínio fundido

Raul E. Sousa[1]; Athos H. Plaine[1]; Cesar E. da Costa[1]; Moisés Parucker[1].
[1]. Universidade do Estado de Santa Catarina.

Introdução

O alumínio e suas ligas são amplamente utilizados na indústria automotiva devido à sua baixa densidade e às suas excelentes propriedades mecânicas. A fundição sob alta pressão (HPDC) é um dos processos empregados na fabricação desses componentes, permitindo obter peças de geometria complexa com alta produtividade. Contudo, a vida útil das matrizes utilizadas nesse processo pode ser limitada pelo *die soldering*, fenômeno caracterizado pela aderência do alumínio à ferramenta e pela formação de fases intermetálicas duras e frágeis.

Objetivos

Analisar a cinética de formação e a evolução microestrutural das fases intermetálicas, bem como a dissolução interfacial dos aços-ferramenta AISI H13 e H11 em contato com uma liga comercial de alumínio da família Al–11%Si, por meio de ensaios de imersão.

Metodologia

As amostras dos aços AISI H13 e H11 foram submetidas à têmpera e ao revenimento a vácuo, atingindo durezas de 44–46 HRC. A caracterização mecânica compreendeu ensaios de dureza, impacto Charpy e tração a frio e a quente. Os ensaios de imersão foram realizados em liga comercial de alumínio da família Al–11%Si a 715 °C, ao ar, por períodos de 1 a 16 h. A perda de massa foi avaliada por pesagem após a remoção química do alumínio aderido em solução aquosa de NaOH. A interface foi caracterizada por MEV/EDS para analisar a morfologia e a evolução microestrutural das fases, investigar os mecanismos de falha e avaliar a distribuição de Fe, Al e Si.

Aço	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V
H11	0,36	0,25	0,25	0,009	0,0010	4,98	1,31	0,39
H13	0,38	0,80	0,38	0,010	0,0010	5,24	1,20	0,83

Tabela 1. Composição química dos aços H11 e H13 (% em massa).

Resultados e Discussão

Os aços apresentaram microestrutura martensítica com finos carbonetos secundários e dureza média de 45 HRC após o tratamento térmico. O H13 apresentou maior resistência à tração à temperatura ambiente (1583 MPa) e a 600 °C (984 MPa), enquanto o H11 apresentou maior energia absorvida no impacto Charpy (25,9 J). A massa removida por decapagem variou com o tempo, atingindo, em 16 h, 0,673 g no H11 e 0,277 g no H13. As análises por MEV/EDS revelaram camadas de reação quimicamente heterogêneas, com regiões ternárias Al–Fe–Si e regiões predominantemente Fe–Al, contendo baixos teores de Si e composições próximas à de Fe_2Al_5. Observaram-se trincas e cavidades nos estágios iniciais e, após 16 h, uma camada interna espessa, contínua e compacta.

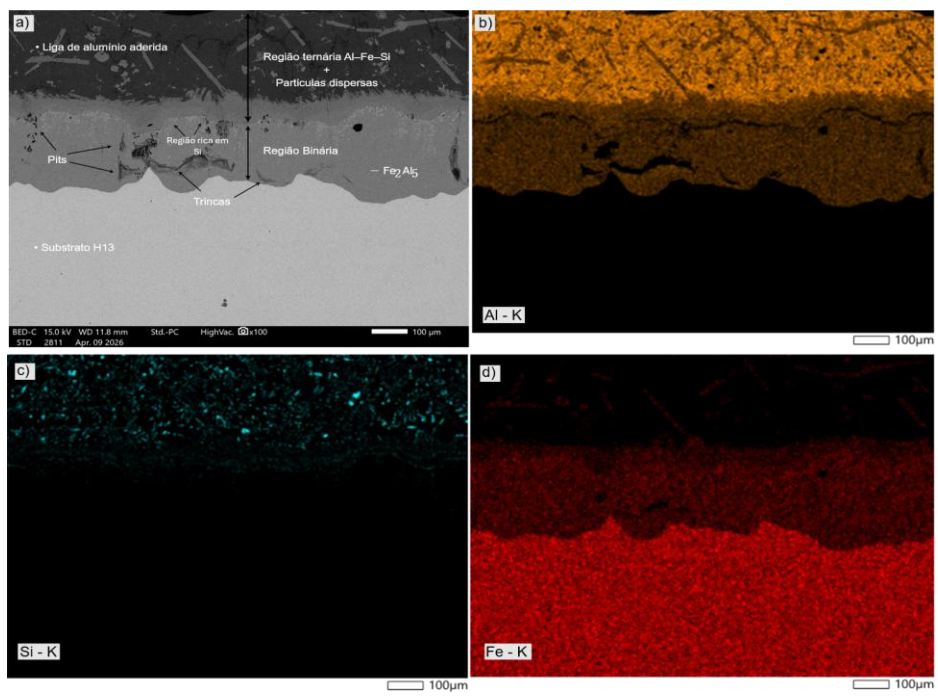


Figura 1. Interface do H13 (16h): a) MEV-BSE; mapas EDS de b) Al, c) Si e d) Fe

Conclusões

Os aços apresentaram propriedades mecânicas adequadas ao HPDC. O H13 apresentou maior resistência à tração a frio e a quente, enquanto o H11 apresentou maior energia absorvida no impacto Charpy-V. A massa removida por decapagem foi maior no H11 após 16 h. A análise da interface revelou duas regiões ternárias Al–Fe–Si e uma camada interna Fe–Al, com composição próxima à de η-Fe_2Al_5.

Referências e Agradecimentos

1.HAN, Q. Mechanism of die soldering during aluminum die casting. China Foundry, v. 12, n. 2, p. 136–143, 2015; 2. SHANKAR, S.; APELIAN, D. Die soldering: mechanism of the interface reaction between molten aluminum alloy and tool steel. Metallurgical and Materials Transactions B, v. 33, n. 3, p. 465–476, 2002; 3. SONG, J. et al. Evolution of intermetallic phases in soldering of the die casting of aluminum alloys. Metallurgical and Materials Transactions A, v. 47, n. 6, p. 2609–2615, 2016.

Os autores agradecem à CAPES (Código 001), ao CNPq (nº 142084/2024-7) e ao Programa MOVER/FUNDEP (Linha IV, Projeto 27194*10) pelo apoio financeiro; à UDESC e ao IFMA pelo apoio institucional.