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

JUNTAS DE AÇO INOXIDÁVEL LEAN DUPLEX UNS S2101 SOLDADAS POR FRICÇÃO E MISTURA MECÂNICA (FSW): MICROESTRUTURA E COMPORTAMENTO DE CORROSÃO ELETROQUÍMICA

Leonardo Martins Tavares[1,2], David José Barreto Aviles[1,2], João Gabriel da Cruz Passos[1,2] *, Guilherme dos Santos Vacchi[1,2], Carlos Alberto Della Rovere[1,2]
1. Laboratório de Corrosão Munir Rachid, Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Rodovia Washington Luís, km 235, CEP 13565-905, São Carlos, SP, Brasil; 2. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, SP, Brasil. Contato: guilhermevacchi@ufscar.br; rovere@ufscar.br

Introdução

O aço inoxidável lean duplex UNS S2101 destaca-se pela combinação de elevada resistência mecânica, resistência à corrosão e menor custo em relação aos aços duplex convencionais. A soldagem por fricção e mistura mecânica (FSW) apresenta-se como alternativa aos processos de soldagem por fusão, minimizando defeitos e alterações microestruturais indesejáveis. Entretanto, os ciclos termomecânicos impostos pela FSW podem modificar o balanço entre ferrita e austenita e favorecer a precipitação de fases deletérias, comprometendo a resistência à corrosão e a estabilidade do filme passivo nas diferentes regiões da junta soldada.

Objetivos

- Caracterizar as alterações microestruturais induzidas pela FSW no aço inoxidável lean duplex UNS S32101.
- Avaliar a distribuição de microdureza e o grau de sensitização das diferentes regiões da junta.
- Correlacionar o refinamento microestrutural e a precipitação de Cr_2N com o comportamento eletroquímico local.

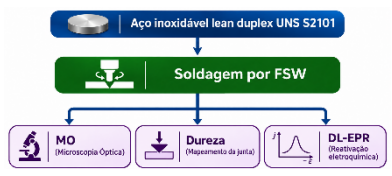
Metodologia

Tabela 1 – Composição química AILD 2101 (UNS S32101) fornecido pelo fabricante.

Elementos (% em massa)								
C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	N	Cu	Fe
0,03	5,0	0,4	21,5	1,5	0,3	0,22	0,3	Balanço

Tabela 1 – Parâmetros de soldagem utilizados na união do aço AILD 2101 por FSW.

Parâmetro	Valor
Velocidade de rotação (ω)	200 rpm
Velocidade de avanço (υ)	100 mm/min
Força axial (Fz)	37 kN
Força na direção de soldagem (Fx)	4,5 kN
Temperatura máxima na ferramenta	835 °C
Aporte energético estimado	1,43 kJ/mm



Resultados e Discussão

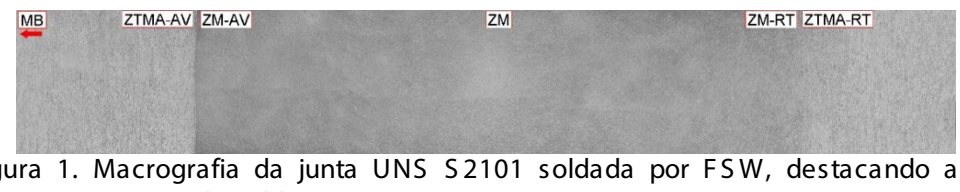


Figura 1. Macrografia da junta UNS S2101 soldada por FSW, destacando as diferentes regiões da solda.

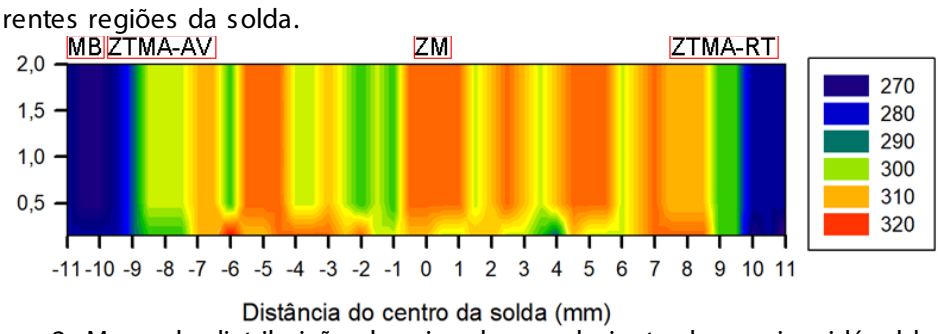


Figura 2. Mapa de distribuição de microdureza da junta de aço inoxidável lean duplex UNS S2101 soldada por FSW.

Tabela 2 – Valores médios e desvios-padrão combinados das diferentes regiões da junta UNS S2101 soldada por FSW.

Região da solda	Valores
Metal de base (MB)	50,4 ± 1,4
Zona de mistura (ZM)	54,1 ± 2,1
ZM – lado de avanço (ZM-AV)	47,9 ± 3,4
ZM – lado de retrocesso (ZM-RT)	58,3 ± 2,1
ZTMA – lado de avanço (ZTMA-AV)	51,8 ± 1,6
ZTMA – lado de retrocesso (ZTMA-RT)	55,6 ± 2,4

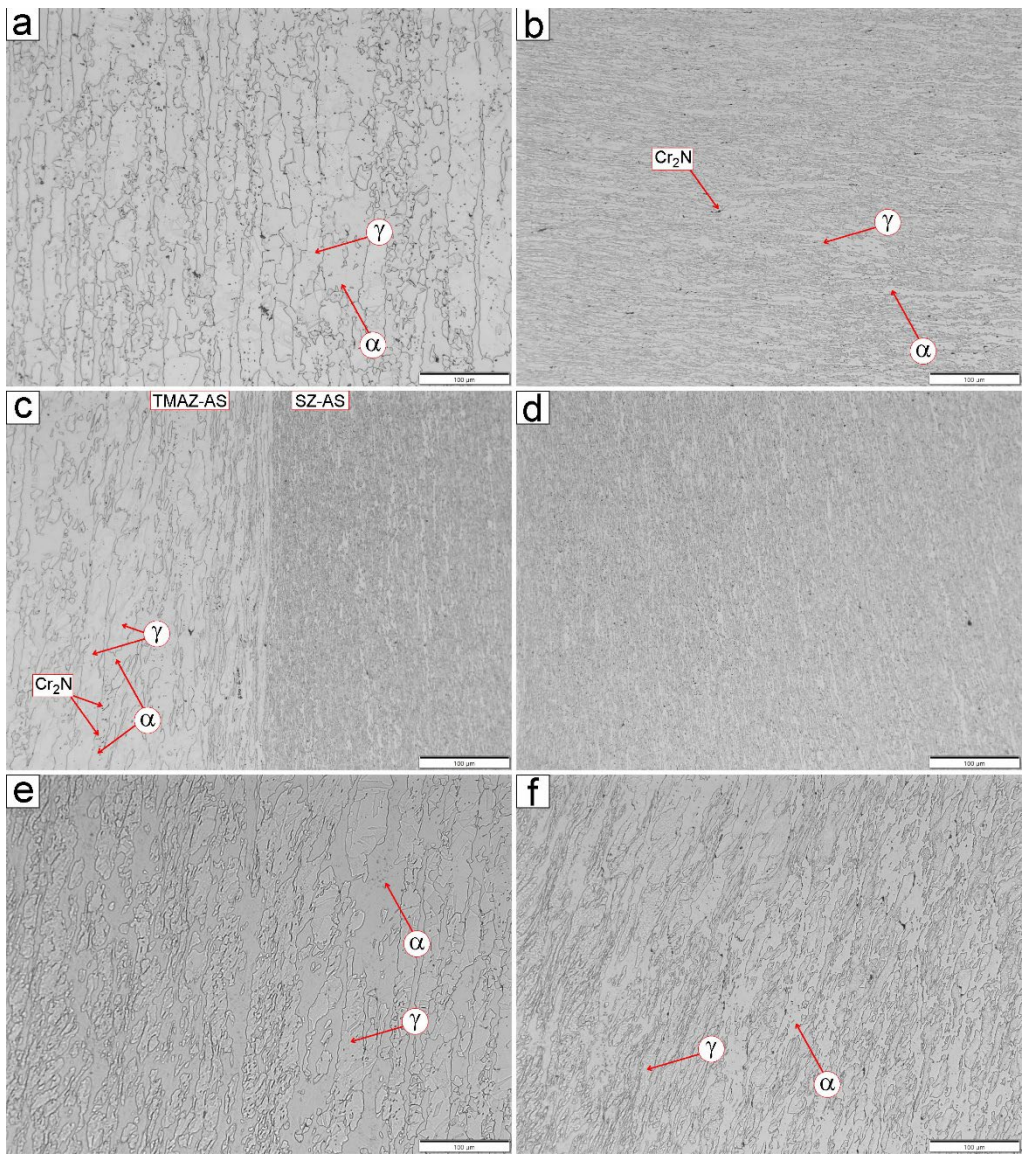


Figura 3. Micrografias ópticas da junta UNS S2101 soldada por FSW: (a) metal de base, (b) zona de mistura, (c) ZTMA-AV, (d) ZM-AV, (e) ZTMA-RT e (f) ZM-RT, destacando as fases ferrita (α), austenita (γ) e precipitados de Cr_2N.

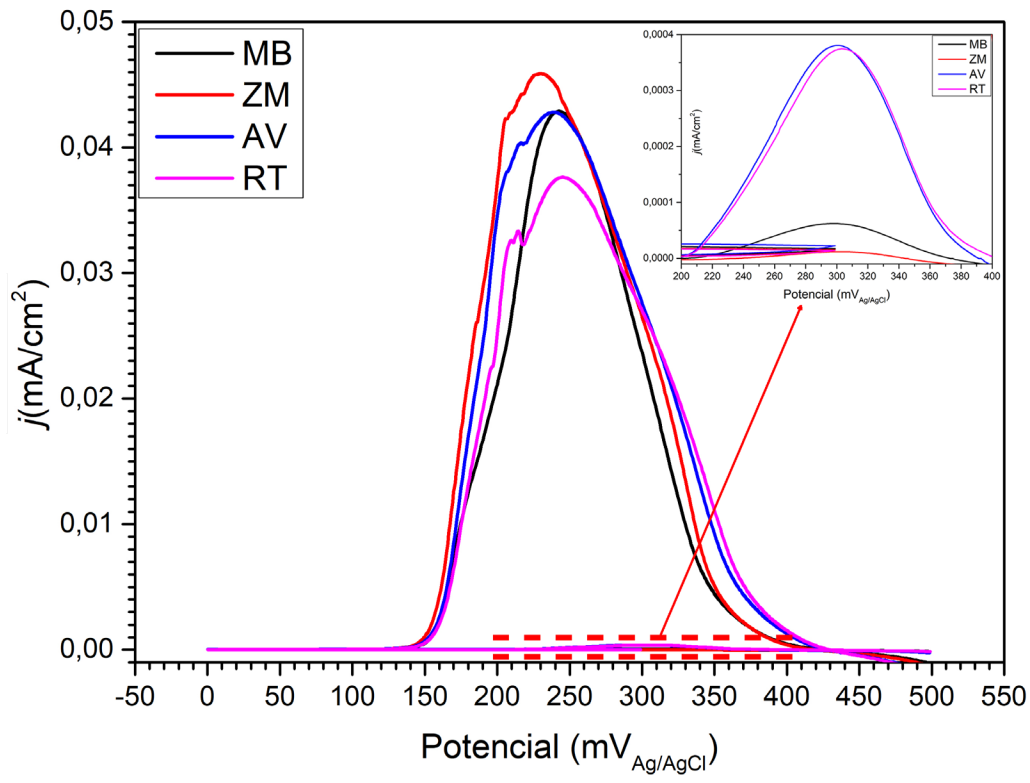


Figura 4. Curvas de DL-EPR das diferentes regiões da junta UNS S2101 soldada por FSW.

Tabela 3 – Valores médios e desvios-padrão das diferentes regiões da junta UNS S2101 soldada por FSW.

Região da solda	Valores
Metal de base	0,15 ± 0,02
Zona de mistura	0,03 ± 0,01
Avanço	0,79 ± 0,19
Retrocesso	0,95 ± 0,03

Conclusões

- A FSW promoveu refinamento microestrutural e aumento da microdureza, atingindo aproximadamente 320 HV.
- O lado de retrocesso apresentou a maior sensitização (0,95 ± 0,03).
- A zona de mistura apresentou a menor sensitização (0,03 ± 0,01), inferior à do metal de base.
- A precipitação de Cr_2N está associada à maior sensitização nas regiões laterais da junta.

Referências e Agradecimentos

MAGNANI, M. et al. Microstructural and electrochemical characterization of friction stir welded duplex stainless steels. International Journal of Electrochemical Science, v. 9, p. 2966–2977, 2014.
SANTOS, T. F. A. et al. Friction stir welding of duplex and superduplex stainless steels and some aspects of microstructural characterization and mechanical performance. Materials Research, v. 19, p. 117–131, 2016.
VACCHI, G. S. et al. Unraveling the Cr_2N precipitation and its negative effect on the corrosion resistance of friction stir welded UNS S32760 super duplex stainless steel. Surfaces and Interfaces, v. 71, 106882, 2025.

ufscar DEMa Departamento de Engenharia de Materiais - UFSCar LC ppgcem FAPESP CNPq Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico CAPES GOVERNO DO BRASIL DO LADO DO POVO BRASILEIRO