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

Electrochemical Detection of the Sigma Phase in UNS S31803 Duplex Stainless Steel: An Approach Based on an Ohmic Model

Maria Luiza Garcia Pelisson[1]; Elan Gabriel Forteski[2]; Haroldo de Araújo Ponte[1]
1.Universidade Federal do Paraná; 2. Universidade do Estado de Santa Catarina

Introdução

A detecção da fase sigma (σ) em aços inoxidáveis duplex é fundamental para monitorar a degradação microestrutural e a perda de resistência mecânica e à corrosão. Como teores superiores a 1% comprometem essas propriedades, sua quantificação em torno desse limite torna-se essencial (Forteski et al., 2024). Nesse contexto, técnicas não destrutivas têm se destacado por identificar fases deletérias sem comprometer a integridade do matéria. A Voltametria de Varredura Linear (LSV) demonstrou sensibilidade para detectar teores de fase sigma superiores a 1% no aço UNS S31803 (HASKEL et al., 2015) e, associada à modelagem ôhmica do sistema eletroquímico (RIOS et al., 2023), apresenta potencial para analisar fases deletérias em aços duplex.

Objetivos

Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência da rugosidade superficial na detecção da fase sigma em aço inoxidável duplex UNS S31803, por meio da validação da relação linear entre a corrente de pico (I_p) e a raiz quadrada da taxa de varredura ($v^{1/2}$), proposta pelo modelo ôhmico, identificando as condições de preparação superficial que oferecem melhor sensibilidade e reprodutibilidade na detecção da fase sigma.

Metodologia

Amostras de aço inoxidável duplex UNS S31803 foram submetidas a tratamentos de solubilização e envelhecimento térmico a 870 °C por 30 minutos. A caracterização microestrutural foi realizada por microscopia eletrônica de varredura (MEV) associada à espectroscopia por dispersão de energia (EDS) e análise digital de imagens. Em seguida, os ensaios eletroquímicos foram conduzidos em célula composta por microelétrodo do tipo capilar de Luggin reativa seletiva com área ~0,0033 cm², utilizando um potenciostato PalmSens 2 controlado pelo software PSTrace 5.11 e eletrólito alcalino viscoso (KOH 4 mol L^{-1} com 1,5 % de ágar), de modo a minimizar efeitos difusionais e favorecer o regime ôhmico. As varreduras foram conduzidas em diferentes velocidades, permitindo a construção das curvas I_p *vs* $v^{1/2}$ utilizadas na avaliação do modelo ôhmico.

Resultados e Discussão

A caracterização microestrutural indicou a formação de ~1,14% de fase sigma nas amostras. Nos ensaios eletroquímicos, as curvas I_p *vs* $v^{1/2}$ apresentaram comportamento linear, confirmando a validade da proposta de aplicação do modelo ôhmico para quantificação da fase sigma. A presença da fase sigma altera a formação do filme passivo, o que influencia a resistência iônica e se evidencia nas variações de inclinação dessas curvas. O acabamento superficial intermediário (320–1200 mesh) proporcionou melhor reprodutibilidade e sensibilidade para identificar a degradação, enquanto a superfície de maior rugosidade (100 mesh) apresentou desvio da linearidade esperada, indicando mudança no mecanismo de crescimento do filme óxido, o que inviabiliza a aplicação do modelo para quantificação da fase sigma nessa condição.

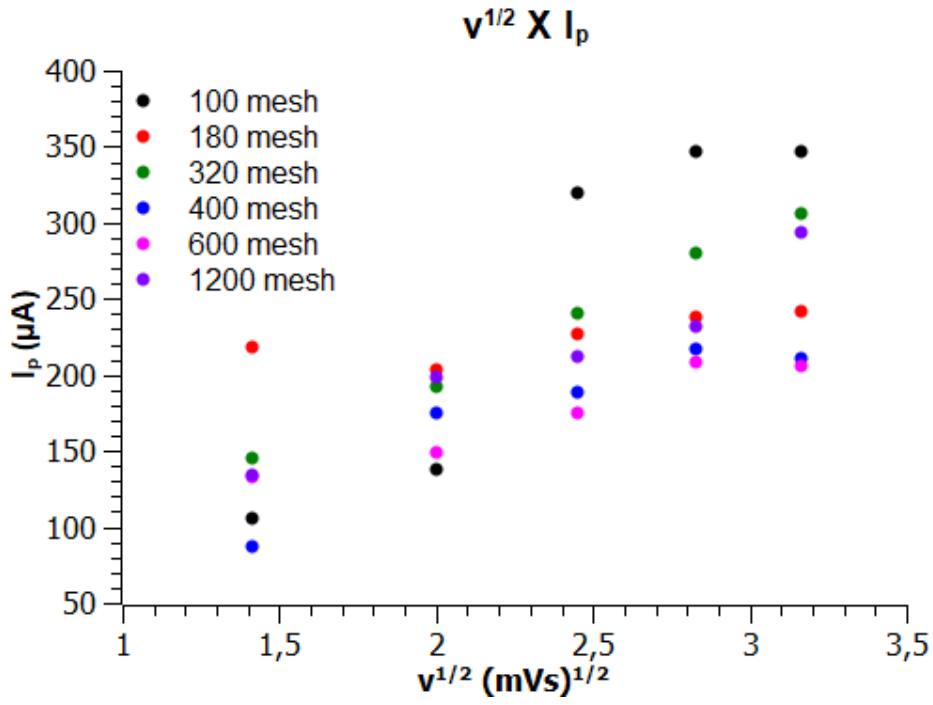


Figura 1. Densidade de corrente de pico em função da raiz quadrada da velocidade de varredura para diferentes granulometrias de lixamento.

Conclusões

A linearidade entre I_p e $v^{1/2}$ valida o modelo ôhmico para quantificação indireta da fase sigma no aço UNS S31803, mas sua aplicabilidade depende da preparação superficial, sendo inadequada para acabamentos menor refinamento superficial como 100 mesh. Os resultados demonstram o potencial da combinação entre LSV e modelagem ôhmica para detecção de baixos teores de fase sigma, relacionando parâmetros eletroquímicos à presença de fases deletérias e contribuindo para o monitoramento da integridade de componentes industriais.

Referências e Agradecimentos

FORTESKI, Elan Gabriel et al. Sigma phase detection in duplex stainless steel based on correlation to current and potential in micro electrode electrochemical of surface. Materials Research, v. 27, supl. 1, e20230541, 2024. DOI: https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2023-0541.
RIOS, Jorge Omar et al. Evaluation of voltametric profiles for quantitative estimation of sigma phase (σ) content in duplex stainless steel UNS S31803: an ohmic and layers porous resistance models (LPRM) analysis. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 9, n. 2, p. 7032–7044, fev. 2023. DOI: https://doi.org/10.34117/bjdv9n2-060.
HASKEL, Hudison Loch et al. Avaliação da técnica de voltametria linear para determinação quantitativa de fase sigma no aço inoxidável duplex UNS S31803. Soldagem & Inspeção, v. 20, n. 3, p. 333–346, 2015. DOI: https://doi.org/10.1590/0104-9224/SI2004.03.
Agradecemos ao apoio financeiro do Programa de Formação de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - PRH-ANP, gerido pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Brasil. Processo n° 2026/15538-6. Em especial ao PRH-ANP12/UFPR, Processo n° 2025/02686-4.