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

"Revestimento sustentável à base de ferro, depositado pelo processo de manufatura aditiva Laser Cladding"

Adriano C. F. Monte[1]; Brenda J. M. Freitas[1]; Luana C. M. Rodrigues[1]; Igor G. C. Mota[1]; Guilherme Y. Koga[1]
1. Universidade Federal de São Carlos - UFSCar/SP

Introdução

A cromagem dura é amplamente utilizada para a proteção superficial de componentes metálicos em setores críticos, devido à sua alta resistência ao desgaste e à corrosão. No entanto, apresenta limitações técnicas, como fissuras e porosidade, juntamente com sérias preocupações ambientais relacionadas ao cromo hexavalente (Cr^{6+}), que é altamente tóxico e estritamente regulamentado pela legislação internacional.Nesse contexto, o processo de Laser Cladding (LC) surge como uma alternativa sustentável, permitindo revestimentos densos, livres de fissuras e com melhor adesão metalúrgica. A deposição do revestimento Rockit 401 pelo processo de manufatura aditiva Laser Cladding em hastes hidráulicas apresenta diversas vantagens metalúrgicas em comparação com a cromagem dura convencional, contribuindo para a redução do custo total ao prolongar a vida útil, devido às excelentes propriedades de resistência ao desgaste e à corrosão.

Objetivos

Investigar o processo de deposição do pó metálico "Rockit 401" sobre um substrato de aço carbono, utilizando o processo de laser cladding, com foco na análise das propriedades microestruturais e eletroquímicas do revestimento.

Objetivos Específicos

Analisar a microestrutura do revestimento obtido pelo processo de laser cladding. Avaliar a resistência à corrosão do revestimento e do substrato de aço carbono por meio de ensaios eletroquímicos. Comparar as propriedades do revestimento com as do substrato, especialmente em relação à dureza e resistência ao desgaste.

Metodologia

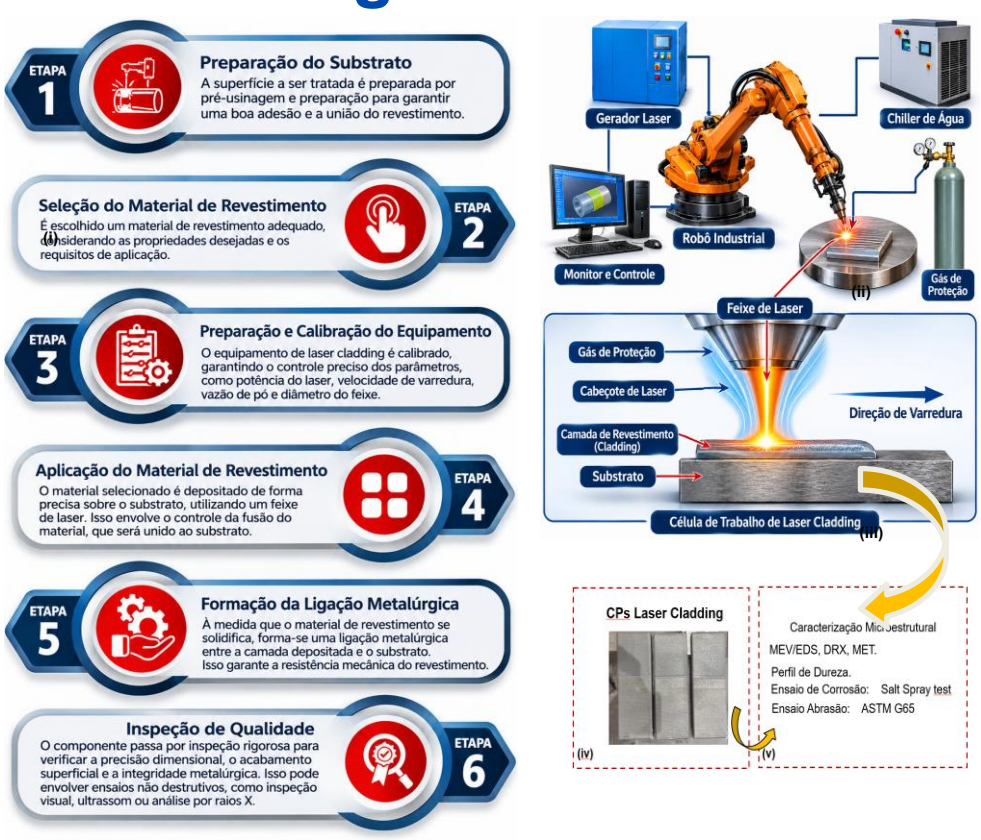
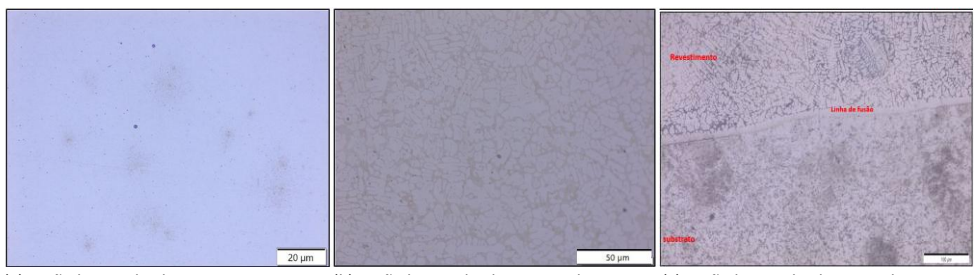
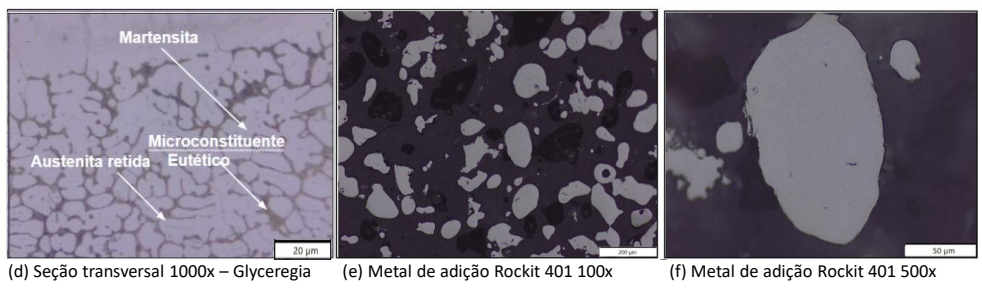


Fig. (i) Fluxograma do processo LC (ii) Célula robótica industrial (iii) Detalhe do bocal coaxial. (iv) Corpo de prova revestido. (v) Caracterização microestrutural

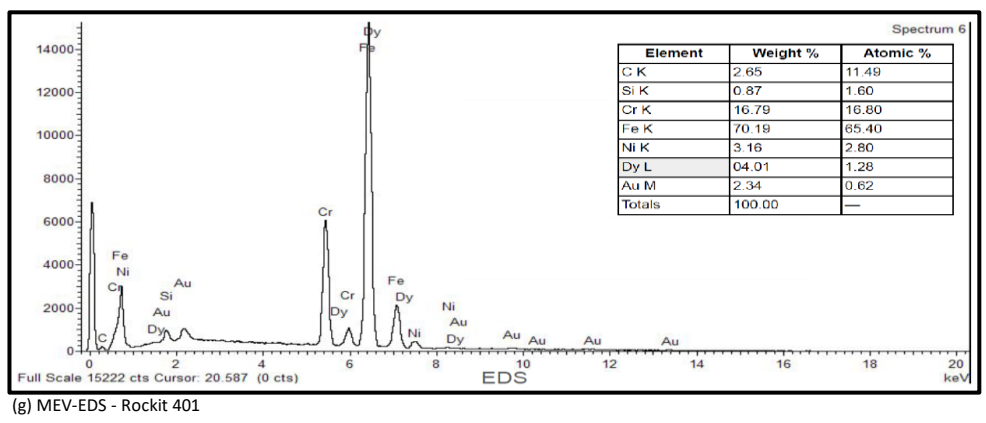
Resultados e Discussão



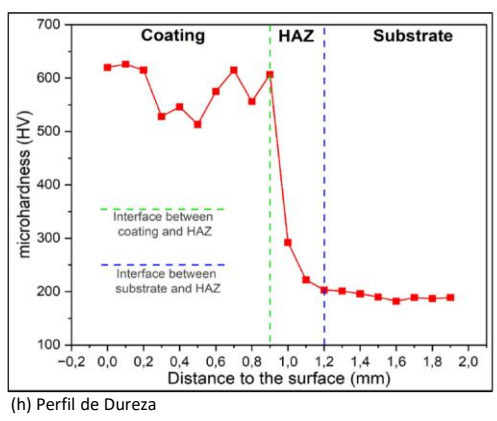
(a) Seção longitudinal 1000x - sem ataque (b) Seção longitudinal 1000x – Glyceregia (c) Seção longitudinal 100x - Glyceregia



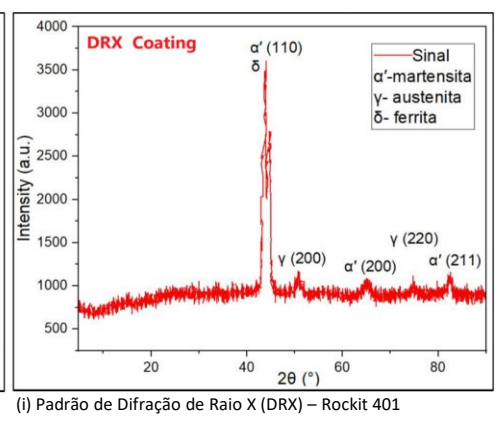
(d) Seção transversal 1000x – Glyceregia (e) Metal de adição Rockit 401 100x (f) Metal de adição Rockit 401 500x



(g) MEV-EDS - Rockit 401



(h) Perfil de Dureza



(i) Padrão de Difração de Raio X (DRX) – Rockit 401

Conclusões

A análise do revestimento Rockit 401 (Fig. a–d) demonstra uma microestrutura densa, homogênea e livre de trincas, confirmando a superioridade metalúrgica do processo de revestimento a laser em comparação com a cromagem dura convencional. Micrografias em diferentes ampliações (Fig. e–f) evidenciam ainda mais o refinamento da estrutura, enquanto a análise MEV-EDS (Fig. g) confirma uma composição química equilibrada, rica em Fe, Cr, Ni, Mn e Mo, com pequenas adições de B e Si, proporcionando resistência ao desgaste, estabilidade térmica e proteção aprimorada contra corrosão. O perfil de dureza (Fig. h) indica desempenho mecânico uniforme em todo o revestimento, enquanto o padrão de difração de raio X (Fig. i) revela a presença de fases duras associadas ao fortalecimento por solução sólida e à formação de carbonetos. Além disso, os testes de corrosão por névoa salina (Fig. (v)) confirmam resistência superior em ambientes agressivos em comparação com a cromagem dura. Em conjunto, esses resultados estabelecem o Rockit 401 como uma alternativa sustentável e qualitativamente superior, combinando desempenho tribológico, resistência à corrosão e segurança ambiental, eliminando o Cr^{6+}, ao mesmo tempo que prolonga a vida útil e reduz o custo total de propriedade.

Referências

CARNEIRO, E.; CASTRO, J. D.; MARQUES, S. M.; CAVALEIRO, A.; CARVALHO, S. REACH regulation challenge: Development of alternative coatings to hexavalent chromium for minting applications. *Surface and Coatings Technology*, v. 418, art. 127271, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2021.127271.

COORS, T.; FAQIRI, M. Y.; SAURE, F.; KAHRA, C.; BÜDENBENDER, C.; PEDDINGHAUS, J.; PRASANTHAN, V.; PAPE, F.; HASSEL, T.; HERBST, S. et al. Investigations on additively manufactured stainless bearings. *Coatings*, v. 12, n. 11, art. 1699, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/coatings12111699.

HOUDKOVÁ, Š.; ZAHÁLKA, F.; KAŠPAROVÁ, M.; BERGER, L. M. Comparative study of thermally sprayed coatings under different types of wear conditions for hard chromium replacement. *Tribology Letters*, v. 43, p. 139–154, 2011. DOI: https://doi.org/10.1007/s11249-011-9791-9.

ISLAM, S.; HASAN, J.; POROMA, P.; AKTER, S. A review on the environment friendly electroplating of Cr (III) & Cr (VI). *Journal of Science and Engineering Papers*, v. 1, n. 1, p. 31–39, jan. 2024. DOI: https://doi.org/10.62275/josep.24.1000001.

LI, Z.; DING, F.; ZHOU, K.; LIU, Y.; WANG, D.; LIU, S.; XIE, D.; GAO, X.; YANG, Y.; SHEN, L. Laser-cladding remanufacturing of Rockit® 401 coating on the surface of 1Cr17Ni2 stainless steel. *Optics & Laser Technology*, v. 191, art. 113306, dez. 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2025.113306.

SEN, A. D.; MAJUMDAR, J. D.; SINGH, S. B. et al. Laser surface cladding of stainless steel to substitute environmentally hazardous hard chrome plating. *Journal of Materials Science*, v. 60, p. 1454–1476, 2025. DOI: https://doi.org/10.1007/s10853-024-10463-4.

Agradecimentos

FAPESP CNPq CAPES UFSCar CCDM DEMa/UFSCar