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

Desenvolvimento de revestimentos protetores por soldagem: análise comparativa de 22 amostras prototipais para aplicações tribológicas

João P. Sachetto[1,3*], Ernesto S. Cumino[2], Francisco M. Neto[2], Lucas B. Otani[2], Omar Maluf[3], Guilherme Y. Koga[2]

[1]- Programa de Pós Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEM), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)
[2]- Departamento de Engenharia de Materiais (DEMa), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)
[3]- Faculdade de Tecnologia de Sertãozinho (FATEC)

Introdução

O desgaste abrasivo é um dos principais mecanismos de degradação de componentes industriais. Revestimentos Fe–C–Cr utilizam carbonetos M_7C_3 para aumentar a resistência ao desgaste. A adição de nióbio favorece a formação de NbC, podendo modificar a solidificação e refinar a microestrutura. Entretanto, sua influência sobre as propriedades mecânicas e tribológicas ainda apresenta divergências na literatura.

Objetivos

Investigar a influência da adição de nióbio na formação e distribuição de carbonetos, na evolução microestrutural e nas propriedades mecânicas e tribológicas de revestimentos Fe–C–Cr obtidos por FCAW e SMAW, correlacionando os resultados de dureza e resistência ao desgaste abrasivo e por impacto com as previsões termodinâmicas CALPHAD.

Metodologia

A investigação foi desenvolvida a partir da análise de 22 revestimentos comerciais, dos quais quatro condições representativas foram selecionadas para caracterização comparativa, considerando diferentes composições químicas, processos de deposição e adição de nióbio.



Figura 1 – Fluxograma das etapas experimentais e de caracterização dos revestimentos Fe–C–Cr e Fe–C–Cr–Nb.

Tabela 1 – Composição química (% em massa) e condição microestrutural do substrato e dos revestimentos Fe–C–Cr e Fe–C–Cr–Nb depositados por SMAW e FCAW.

Liga / Item	Processo	%C	%Cr	%Nb	%Si	%Mn	%V	%Outros	%Fe	Condição
Substrato A36	—	0.18	—	—	0.20	0.85	—	Al=0.03	Bal.	Base Metal
SMAW-C-Cr	SMAW	6.60	32.64	0.00	1.79	0.38	—	Ti=0.17	Bal.	Hipereutética sem Nb
SMAW-Nb-C-Cr	SMAW	3.86	18.32	5.34	2.14	2.42	—	B>0.13	Bal.	Hipereutética c/ Nb
FCAW-C-Cr	FCAW	3.06	13.71	0.00	0.64	0.29	—	—	Bal.	Hipoeutética sem Nb
FCAW-Nb-C-Cr	FCAW	2.50	14.67	2.37	0.36	0.51	0.51	B>0.13	Bal.	Hipoeutética c/ Nb

Resultados e Discussão

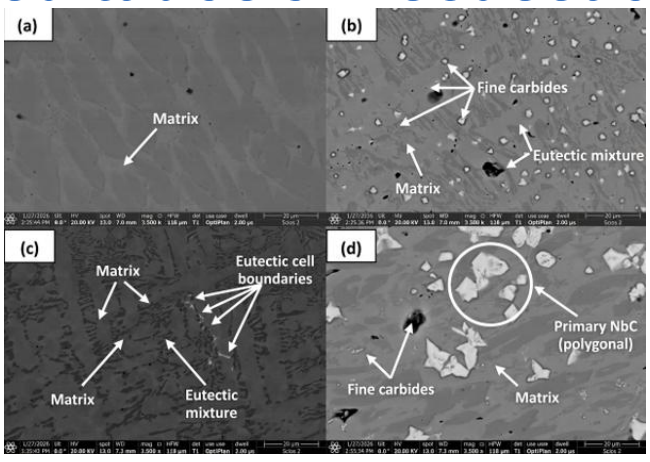


Figura 2. Microestrutura dos revestimentos obtida por microscopia óptica. (a) SMAW–C-Cr, (b) SMAW - Nb-C-Cr, (c) FCAW - C-Cr e (d) FCAW - Nb-C-Cr

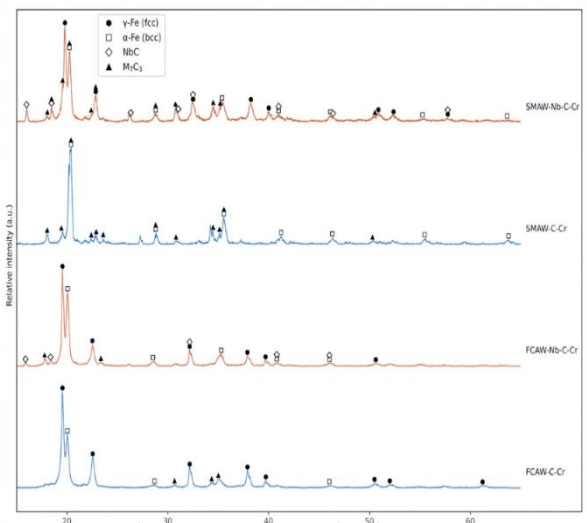


Figura 3 – Difratogramas de raios X (DRX) dos revestimentos

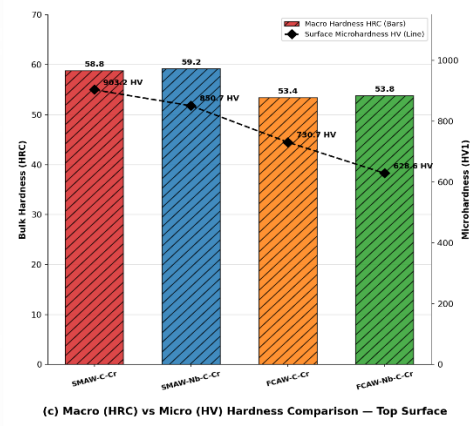


Figura 4 – Comparação entre macrodureza (HRC) e microdureza (HV) na superfície

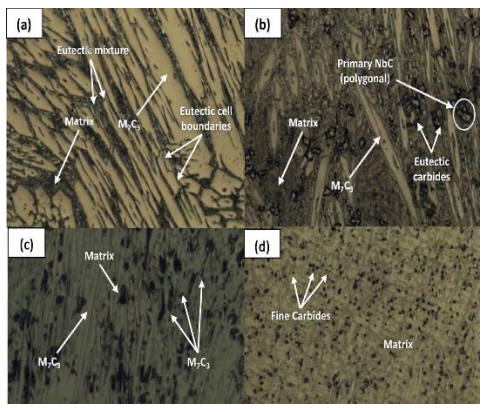


Figura 5 – Microestrutura dos revestimentos obtida por microscopia óptica (a) SMAW–C–Cr, (b) SMAW–Nb–C–Cr, (c) FCAW–C–Cr e (d) FCAW–Nb–C–Cr

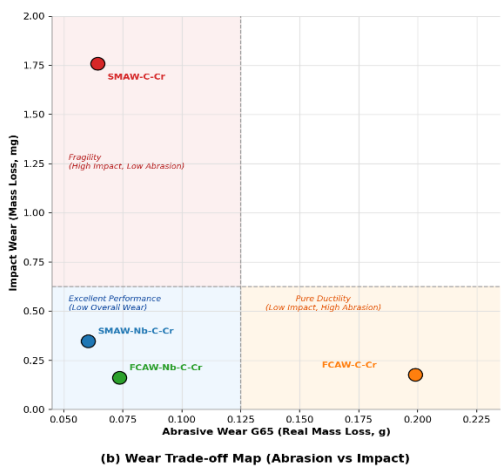


Figura 6 – Mapa de compromisso entre desgaste abrasivo e por impacto

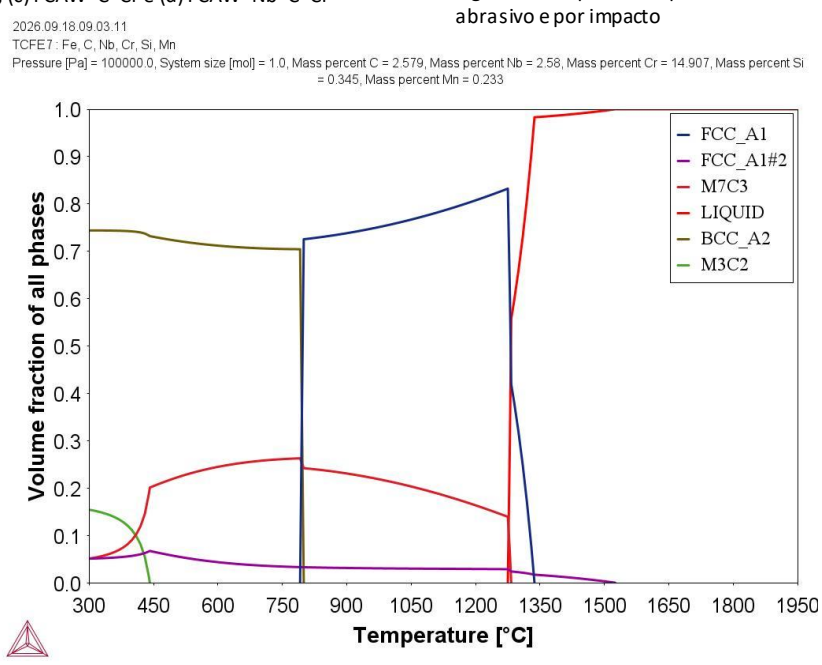


Figura 7 – Diagramas de fração volumétrica de fases em função da temperatura (CALPHAD/Thermo-Calc) da amostra FCAW-Nb-C-Cr

Conclusões

- A adição de nióbio modificou significativamente a evolução microestrutural dos revestimentos Fe-C-Cr, favorecendo a formação de NbC e o refinamento da distribuição dos carbonetos.
- A presença de Nb contribuiu para melhorar o desempenho combinado sob desgaste abrasivo e impacto.
- Os resultados demonstraram que a resistência ao desgaste depende da composição, da morfologia e da distribuição das fases, não podendo ser prevista exclusivamente pela dureza.
- A abordagem integrada entre caracterização experimental e simulação CALPHAD mostrou-se relevante para compreender e orientar o desenvolvimento de revestimentos de elevada resistência ao desgaste.

Referências

1. BUCHELY, M. F. et al. The effect of microstructure on abrasive wear of hardfacing alloys. *Wear*, v. 259, p. 52–61, 2005. DOI: 10.1016/j.wear.2005.03.002.
2. CRUZ-CRESPO, A. et al. Microstructure and Abrasion Resistance of Fe-Cr-C and Fe-Cr-C-Nb Hardfacing Alloys Deposited by S-FCAW and Cold Solid Wires. *Soldagem & Inspeção*, v. 21, p. 342–353, 2016. DOI: 10.1590/0104-9224/SI2103.09.
3. CORREA, E. O. et al. The effect of microstructure on abrasive wear of a Fe-Cr-C-Nb hardfacing alloy deposited by the open arc welding process. *Surface and Coatings Technology*, v. 276, p. 479–484, 2015. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2015.06.026.
4. TANDON, D. et al. A Review on Hardfacing, Process Variables, Challenges, and Future Works. *Metals*, v. 13, 1512, 2023. DOI: 10.3390/met13091512.
5. SOUSA, J. M. S. et al. Tribological performance under abrasive wear of Fe-Cr-C+Nb coating deposited by FCAW process. *Wear*, v. 523, 204824, 2023. DOI: 10.1016/j.wear.2023.204824

Agradecimentos

DEMa UFSCar
CCDM DEMa/UFSCar
Fatec Sertãozinho
CAPES