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

Avaliação Microestrutural de tubos 35Cr45NiNb após exposição prolongada à altas temperaturas e atmosferas reativas em um forno de pirólise

Carlos Felipe da Silva Huguenin Coelho[1]; Eustáquio da Souza Baêta Júnior[1]; Rodrigo Felix de Araujo Cardoso[1]; Samuel Filgueiras Rodrigues[2]; Diel Silva Botão[1] ; André Rocha Pimenta[3]

1. Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ); 2. Instituto Federal do Maranhão (IFMA); 3. Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ)

Introdução e Objetivos

O craqueamento de hidrocarbonetos em fornos de pirólise é essencial para a produção de insumos petroquímicos. Devido às altas temperaturas e atmosferas reativas do processo, utilizam-se ligas com alto teor de Cr e Ni nas serpentinas, que oferecem elevada resistência térmica e proteção contra degradação.

Este trabalho tem por objetivo discutir os impactos nas propriedades mecânicas e na microestrutura de tubos da liga 35Cr45NiNb da seção de radiação de um forno de pirólise retirados de serviço após cerca de 70.000 h de operação a uma temperatura máxima de 1080°C.

Metodologia

Amostras de três regiões distintas da serpentina foram coletadas: uma próxima dos queimadores de fundo (Amostra A), outra na extensão média da serpentina e próxima aos queimadores de parede (Amostra B) e por fim uma região próxima ao topo (Amostra C).

As amostras foram preparadas metalograficamente e caracterizadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) em modo de elétrons retroespalhados (BSE), espectroscopia por dispersão de energia (EDS) e difração de raios X (DRX).

Resultados e Discussão

As imagens MEV evidenciaram carbonetos formados com uma morfologia bem grosseira para todas as amostras, conforme observado na Figura 1.

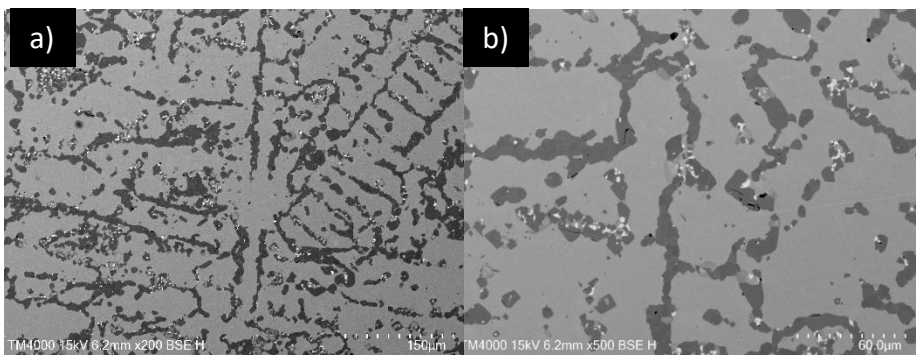


Figura 1. MEV da Amostra B. a) 200x b) 500x.

Uma análise da fração de área ocupada pelos carbonetos de cromo nas imagens MEV foi realizada para 10 regiões diferentes de cada amostra. A área média ocupada pelos carbonetos foi de 38,07% para amostra A, 39,41% para a B e 43,46% para a C. A Amostra C, mais próxima ao topo do conjunto possui concentração de carbonetos superior as demais.

Aliada às imagens de MEV, realizou-se (EDS Figura 2) para avaliação da distribuição elementar e composição de cada amostra na região próxima a superfície interna dos tubos. Foi observada significativa depleção de Cr na matriz austenítica do material, dificultando assim a regeneração de óxidos protetores, conforme Tabela 1.

O ensaio de DRX (Figura 3) realizado nos permite confirmar as fases presentes no material: a matriz austenítica (γ), os carbonetos de cromo ($M_{23}C_6$) e os carbonetos de nióbio (NbC)

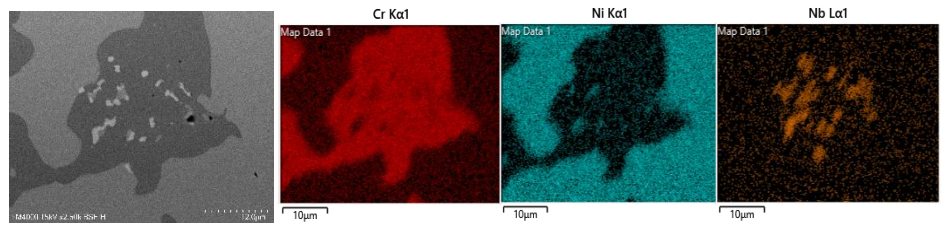


Figura 2. Análise de EDS da região de um carboneto e mapa para os elementos Cr, Ni e Nb. Aumento 2500x.

Tabela 1. Medição pontual da matriz com uso de EDS

Amostra	C (%wt)	Si (%wt)	Cr (%wt)	Ni (%wt)	Nb (%wt)	Fe (%wt)	Outros (%wt)
A	16,58	2,58	8,42	48,69	-	18,71	5,02
B	20,8	1,52	8,72	49,59	-	16,71	2,66
C	16,22	3,83	4,09	53,14	-	16,66	6,06

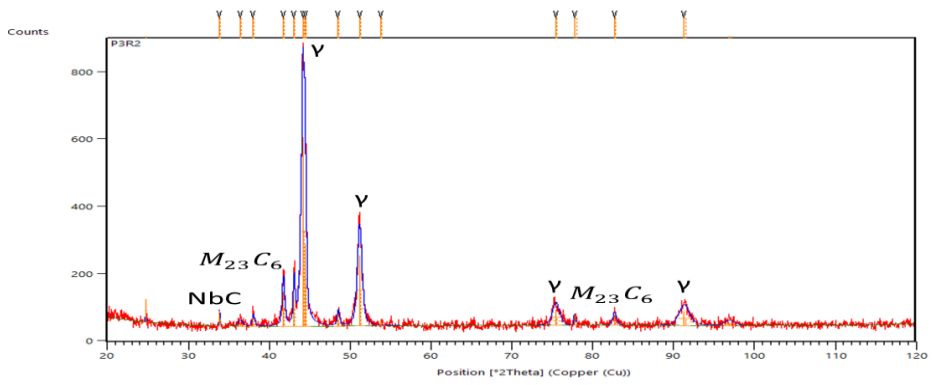


Figura 3. Ensaio de DRX da amostra B.

Conclusões

As amostras apresentaram danos extensivos por carburização, com precipitação e coalescimento de carbonetos de cromo, formando uma rede interdendrítica continua.

A Amostra C, da região mais ao topo do conjunto se mostrou levemente mais afetada que as demais tanto quanto à área ocupada pelos carbonetos quanto pelo percentual de cromo na matriz. Porém, devido à severidade dos danos apresentada, conclui-se que o elevado tempo de operação causou uma carburização severa de forma generalizada por toda a serpentina.

A implicação mecânica para o material é a perda de ductilidade e tenacidade, aumentando o risco de fratura frágil durante eventos transitórios ou de emergência. Recomenda-se o monitoramento da temperatura de operação e substituição preventiva dos tubos a fim de garantir a confiabilidade operacional do equipamento.

Referências

[1] FILHO, C. D. S. Carburização na liga HP modificada utilizada em fornos de pirólise. Dissertação (Mestrado) — Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2012.

[2] SANTANA, P. M. B et al. Failure analysis in pyrolysis furnaces: Impact of carburization and thermal cycles on tube properties. Engineering Failure Analysis, v.127, 2025.

[3] SRISUWAN, N. et al. The study of heat treatment effects on chromium carbide precipitation of 35Cr-45Ni-Nb alloy for repairing furnace tubes. Metals, v. 6, n. 1, 2016.