



## КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ СТАЛЕЙ С ТЕРМОДИФФУЗИОННЫМИ МНОГОСЛОЙНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ В АТМОСФЕРЕ $H_2S$ –ВОЗДУХ

Гузашвилили К.В., докторант

*Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова*

Современное оборудование в энергетике и нефтехимии эксплуатируется в условиях высоких температур и агрессивных сред, содержащих сероводород ( $H_2S$ ), кислород и их производные. Эти компоненты вызывают интенсивные процессы сульфидации и окисления, особенно при температурах выше 400–500 °С [1,2]. Углеродистые и даже нержавеющие стали при этом подвергаются разрушению, образуя рыхлые сульфидные слои ( $FeS$ ,  $FeS_2$ ), которые отслаиваются и ускоряют коррозию [3].

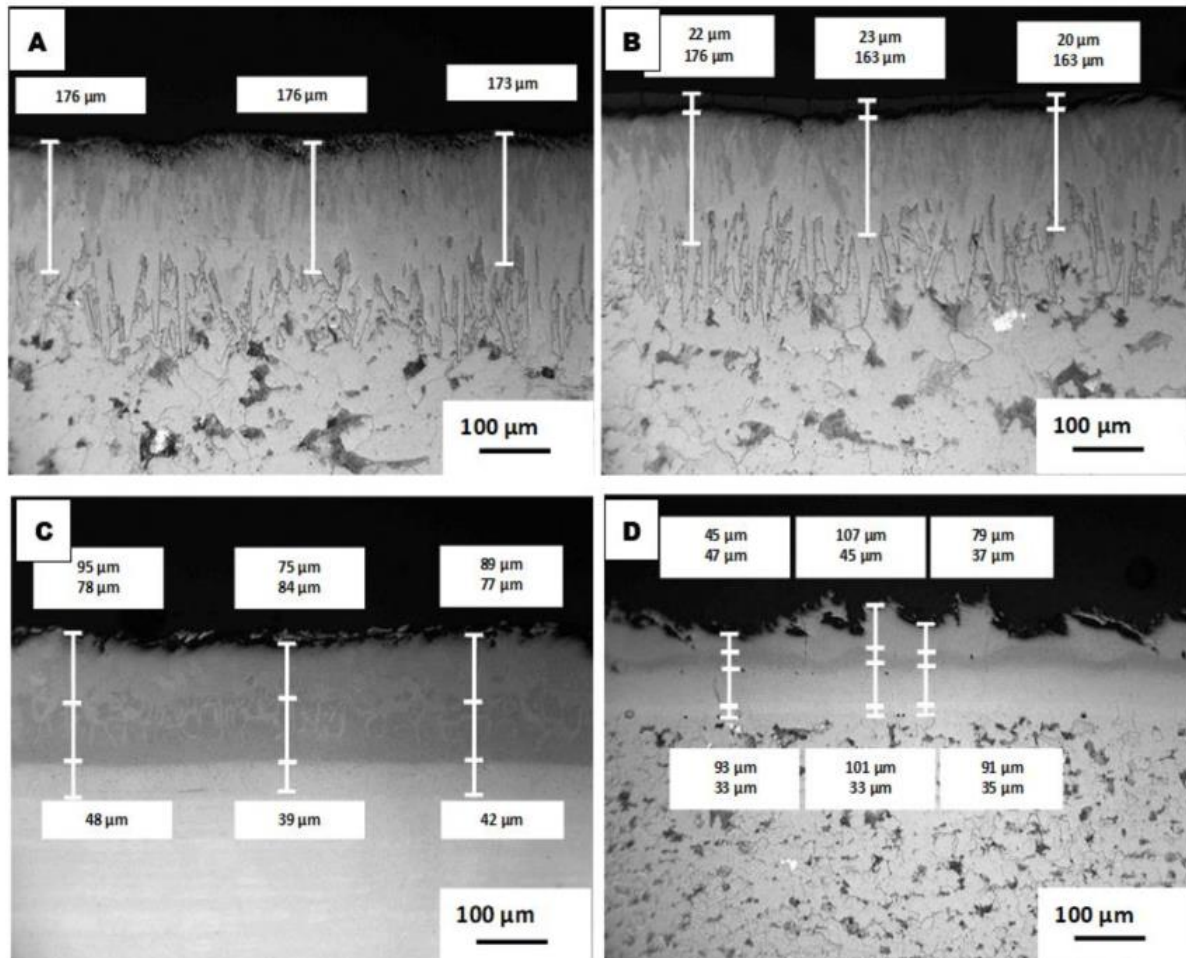
Использование дорогих жаростойких сплавов (на основе никеля, титана) повышает стойкость к коррозии, но экономически невыгодно [4]. Перспективной альтернативой являются термодиффузионные покрытия, формирующие устойчивые слои алюминидов и боридов, обладающих высокой химической инертностью и сцеплением с подложкой [5,6].

Наиболее изучены покрытия на основе алюминидов железа ( $FeAl$ ,  $Fe_2Al_5$ ), которые при эксплуатации формируют защитную плёнку  $Al_2O_3$ , а также бориды ( $FeB$ ,  $Fe_2B$ ), характеризующиеся высокой твёрдостью и стабильностью. Их структура и эффективность широко исследованы на примере углеродистых сталей А36/44W и нержавеющей стали 316L, применяемых в теплообменниках и трубопроводах [7,8].

На рисунке 1 приведены микроструктуры покрытий до испытаний в атмосфере  $H_2S$ –воздух при 500 °С. Покрытия демонстрируют различную толщину и морфологию. Так, боридные слои имеют характерную «зубчатую» форму (рис. 1А, 1В), а алюминированные — более равномерную структуру (рис. 1С, 1D), что способствует их стабильности при длительной эксплуатации.

Сравнительный анализ показывает, что алюминированные образцы сохраняют массу и структуру при термическом воздействии, а боридные покрытия также демонстрируют устойчивость, особенно при оптимальной толщине. Однако чрезмерное нанесение дополнительных слоёв (например,  $TiO_2$ ) может вызывать растрескивание [9].

Таким образом, многослойные термодиффузионные покрытия являются эффективным методом повышения коррозионной стойкости сталей в условиях  $H_2S$ -сред. Они обеспечивают защиту без значительного удорожания конструкции и могут быть рекомендованы для оборудования энергетических и нефтехимических установок.



**Рисунок 1. Микроструктура покрытий (ЛОМ, шлифы в поперечном сечении) до проведения испытаний: верхний ряд — (А) боридированная углеродистая сталь (В) (слева); боридированная углеродистая сталь с верхним слоем  $TiO_2$  (ВТ) (справа); нижний ряд — (С) алюминированная нержавеющая сталь 316L (6А) (слева); (D) алюминированная углеродистая сталь (А) (справа) [7].**

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Young D.J. High Temperature Oxidation and Corrosion of Metals. Elsevier, 2008.
2. Mrowec S. Sulfur in high-temperature corrosion. Oxid. Met. 1995.
3. Rebak R.B. Sulfidic Corrosion in Refineries. Corros. Rev. 2011.
4. Davis J. Surface Engineering for Corrosion and Wear Resistance. ASM, 2001.
5. Galetz M.C. Coatings for Superalloys. InTechOpen, 2015.
6. Medvedovski E. Formation of Corrosion-Resistant Thermal Diffusion Boride Coatings. Adv. Eng. Mater. 2016.
7. Dudziak T.P. et al. Sulfidation-Oxidation Resistance of Thermal Diffusion Multi-Layered Coatings on Steels. Materials, 2021, 14(19), 5724.
8. Agüero A. et al. Behaviour of aluminide coatings in steam environments. Surf. Coat. Technol., 2007.
9. Schrooten J. et al. Preparation and characterization of boron oxysulfide glasses. J. Non-Cryst. Solids, 2003.