

УДК 538.91

## ОЦЕНКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ТОЛЩИНЫ ОКСИДНЫХ СЛОЕВ СТАЛИ ВНС-5, МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПУЧКАМИ ИОНОВ УГЛЕРОДА И ХРОМА

Е. Д. ХАБИБОВА

Научный руководитель В. О. СЕМИН, канд. физ.-мат. наук, доц.  
Национальный исследовательский Томский государственный университет  
Томск, Россия

На протяжении многих лет особый интерес фокусируется на снижении стоимости стальных полуфабрикатов, а также увеличении технологичности готовых изделий. Производственные затраты на ремонт, экологичность и срок службы деталей связаны с процессами коррозии и разрушением стальных конструкций при их эксплуатации в водных средах. С экономической точки зрения целесообразнее проводить не замену поврежденных конструктивных элементов, а обработку поверхности, которая бы способствовала повышению коррозионной стойкости и долговечности деталей, выполненных из сталей различного класса.

Цель работы заключается в определении толщины и химического состава поверхностного слоя стали ВНС-5, модифицированной ионно-пучковыми и химическими методами, а также выявлении причин, ответственных за коррозионные свойства.

В работе в качестве подложек выбрана коррозионно-, жаростойкая аустенитно-мартенситная сталь марки ВНС-5 (13X15H4AM3) производства ФГУП «ВИАМ» (г. Москва, Россия). Данная конструкционная сталь обладает безупречной свариваемостью всеми видами сварки и используется в авиационной технике, судостроении при производстве обширного перечня деталей машин и крепежных элементов.

Предварительная пробоподготовка поверхности стали ВНС-5 включала механическую полировку (МП) на абразивной бумаге до зеркального блеска. Образцы после МП обозначены как ВНС-5<sup>МП</sup>. Далее проводили высокодозовую ионную имплантацию (ВДИИ) пучками ионов аргона и хрома с дозой облучения  $10^{17}$  ион/см<sup>2</sup> и средней энергией 30 кэВ (ВНС-5<sup>ВДИИ(Cr<sup>+</sup>)</sup>). ВДИИ ионами углерода (ВНС-5<sup>ВДИИ(C<sup>+</sup>)</sup>) выполняли на вакуумной установке UVN-05MD «КВАНТ» при ускоряющем напряжении  $\leq 80$  кВ и расчетной дозе облучения  $2 \cdot 10^{17}$  ион/см<sup>2</sup>. Химическая пассивация (образец обозначен как ВНС-5<sup>ХП</sup>) заключалась в погружении подложки из механически полированной стали в смесь 10 масс. %  $H_3PO_4$  и 0,05 М  $K_2Cr_2O_7$  на 140 ч. Электрохимические эксперименты на коррозию проводили в трехэлектродной ячейке на потенциостат-гальваностате Р40-Х (Россия). Фоновый электролит – 3,5 масс. % р-р NaCl. Выдержка в растворе перед измерениями – 90 мин. Запись импедансных спектров (ЭИС) в диапазоне частот  $0,05...10^5$  Гц осуществляли при потенциостатической стабилизации потенциала разомкнутой цепи  $E_{ocp}$  с амплитудой синусоидального сигнала 10 мВ. Морфологию поверхности образцов ВНС-5

после коррозионных испытаний исследовали на растровом электронном микроскопе (РЭМ) Apreo 2 S (Thermo Fisher Scientific, США) при ускоряющем напряжении 20 кВ. Химическое состояние элементов изучали методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) на спектрометре K-Alpha Nexsa (Thermo Fisher Scientific, США) с монохроматическим источником рентгеновского излучения Al K $\alpha$  ( $\lambda = 1486,6$  эВ).

Типичные спектры ЭИС в координатах Найквиста и Боде, отражающие токопроводящие свойства стали ВНС-5 после поверхностных обработок, приведены на рис. 1, а, б.



Рис. 1. Диаграммы импеданса в координатах Найквиста (а) и Боде (б) и эквивалентные электрические схемы (в, г) образцов стали ВНС-5, различающихся способом поверхностной обработки (на вставке – количественные данные аппроксимации ЭИС кривых)

С помощью аналоговых моделей в методе ЭИС (см. рис. 1, в, г) было обнаружено, что в модифицированных образцах процесс переноса заряда осуществляется через дополнительную границу раздела – оксидную пленку, обладающей собственной емкостью и сопротивлением. Химическое состояние оксидных фаз проанализировано методом РФЭС (рис. 2).

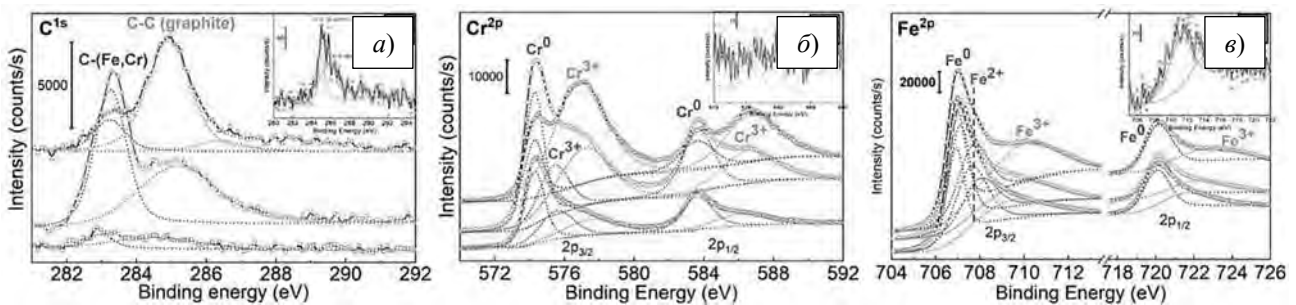


Рис. 2. РФЭС-спектры {C, Cr, Fe} высокого разрешения образцов из ВНС-5: ВНС-5МП (черная кривая), ВНС-5ХП (синяя кривая), ВНС-5ВДИИ(C+) (зеленая кривая), ВНС-5ВДИИ(Cr+) (красная кривая)

Сделан вывод, что наилучшей устойчивостью к коррозии обладает образец ВНС-5ВДИИ(Cr+) за счет формирования на его поверхности оксидного слоя из  $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{CrO}(\text{OH}) + \text{Fe}_2\text{O}_3$  с наибольшим сопротивлением к переносу зарядов в растворе.

Исследования выполнены в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, проект FWRW-2021-0003.