

POTENTIOMETRIC STUDIES OF THE CORROSION RESISTANCE OF THE STRUCTURAL MATERIAL OF FUEL RODS USING MODERN DEVICES

Hapon Yu.K.

*National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv,
Chernishevskaya Str. 94, 61023*

At modern nuclear power plants, one of the key problems is the occurrence of emergencies associated with internal and external corrosion of structural materials. The study of the influence of medium acidity on electrochemical corrosion processes and the composition of the surface layer of fuel element alloys (Zr1Nb) is reflected in the experimental methodology and results. The use of modern MTech SPG-500F devices and the NITON XL2 mobile analyzer allows obtaining accurate data on the corrosion resistance and chemical composition of materials, contributing to the development of materials science and industry.

Keywords: atomic reactor, electrochemical corrosion, fuel elements, Zirconium alloys

ПОТЕНЦІОМЕТРИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОРОЗІЙНОЇ СТІЙКОСТІ КОНСТРУКЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ ТВЕЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ СУЧАСНИХ ПРИЛАДІВ

Гапон Ю.К.

*Національний університет цивільного захисту України, Харків,
Вул. Чернишевська 94, 61023*

На сьогоднішній день, однією з ключових проблем на атомних електростанціях є виникнення надзвичайних ситуацій, які пов'язані з процесами внутрішньої та зовнішньої корозії конструкційних матеріалів. У світі існує різноманітні типи реакторів, які різняться за типом теплоносія, сповільнювачем, спектром нейтронів та конструкцією. На території України використовуються водо-водяні енергетичні реактори (ВВЕР), де теплоносієм і сповільнювачем є вода під тиском.

Задачею дослідження є встановлення впливу кислотності середовища на електрохімічні процеси корозії та склад поверхневого шару конструкційних сплавів теплоділяючих елементів (Zr1Nb).

1 Методика експерименту

Визначення корозійної стійкості синтезованих матеріалів здійснювали методом поляризаційного опору шляхом реєстрації анодних і катодних вольтамперограм за допомогою сучасного приладу вітчизняного виробництва потенціостата-гальваностата MTech SPG-500F, який є універсальним приладом для електрохімічних досліджень та аналізу, який може працювати як потенціостат, гальваностат чи потенціометр. Пристрій працює під керуванням програмного забезпечення персонального комп'ютера (ПК). Зв'язок з ПК реалізовано через USB порт [1,2].

Густину струму корозії $j_{кор}$ визначали екстраполяцією в точці перетину лінійних ділянок парціальних анодних і катодних поляризаційних залежностей поблизу потенціалу корозії $E_{кор}$. (ділянки до 50 мВ) у тафелівських координатах $\lg j - \Delta E$.

За відомим значенням струму корозії розраховували глибинний показник швидкості корозії k_h за рівнянням:

$$k_h = \frac{8,76 \cdot k_{сп} \cdot j_{кор}}{\rho_{сп}}$$

де $k_{сп}$ – електрохімічний еквівалент металу або сплаву, кг/Кл;

$j_{кор}$ – густина струму, А/м²;

$\rho_{сп}$ – щільність сплаву, кг/м³.

Для визначення хімічного складу досліджувальних зразків в роботі використовували мобільний аналізатор NITON XL2 працює відповідно до способу аналізу рентгенівської флуоресценції. Використовуючи даний прилад встановлено, що початковий склад досліджуваного сплаву складається з: 97.52% - цирконію (Zr) та 1,02 % - ніобію (Nb).

Основними перевагами Niton XL2 є: швидкість отримання результатів, похибка 0,001 %, вбудований USB-порт, який дає змогу передавати звіти

на ПК і роздруковувати за необхідності, можливість зберігання у пам'яті приладу до 3 тисяч результатів вимірювань, визначення до 24 елементів та можливість додавання нестандартних елементів.

2 Результати експерименту та їх обговорення

Корозія ТВЕЛів в ядерних реакторах - це електрохімічний процес, що включає в себе окислення металевих матеріалів внаслідок реакції з агресивним середовищем, яке може включати радіоактивні рідини та інші хімічно активні речовини.

Корозійну поведінку сплаву Zr1Nb в розчинах з широким діапазоном рН середовища визначали за допомогою глибинного показника швидкості корозії в середовищах різної кислотності на фоні 1М натрію сульфату, завдяки реєстрації струму та потенціалу корозії. Для сплаву Zr1Nb корозійна поведінка залежить від гідродинамічних умов та кислотності середовища, в якому відбувається випробування. Потенціал корозії наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Характеристики корозійної стійкості сплаву Zr1Nb в середовищах різної кислотності

pH=5 H ₃ BO ₃ -32,5 г/л KOH -0,11 г/л				pH=7 H ₃ BO ₃ -7,0 г/л KOH - 0,025 г/л NH ₄ OH-2,8 г/л				pH=10 H ₃ BO ₃ - 7,5 г/л KOH - 6,6 г/л			
j _{кор} , А/дм ²	E _{кор} ,В	k _н , мм/рік	Бал стій- кості	j _{кор} , А/дм ²	E _{кор} ,В	k _н , мм/рік	Бал стій- кості	j _{кор} , А/дм ²	E _{кор} ,В	k _н , мм/рік	Бал стій- кості
0,020	-1,4	0,0065	3	0,023	-1,6	0,0071	3	0,041	-2,5	0,013	4

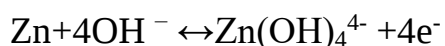
Проведені дослідження корозійної стійкості сплаву, який складається із 99 % цирконію та 1 % ніобію показали, що кислому середовищі сплав проявляє більше стійкість оскільки:

- Zr хімічно стійкий і пасивний в кислих та слабокислих розчинах. Він здатний утворювати захисні, стабільні оксидні шари ZrO_2 на своїй поверхні, що запобігають подальшій корозії;

- Nb хімічно стійкий і пасивний в кислих та слабокислих розчинах. Як і цирконій, ніобій може утворювати стійкі оксидні шари Nb_2O_5 і може допомагати утримувати стійкість матеріалу в агресивних середовищах.

Загальна стійкість сплаву в кислому середовищі може бути наслідком комбінації цих властивостей та взаємодії між елементами сплаву, що призводить до формування захисного оксидного шару. Такі оксидні шари допомагають запобігти розчиненню матеріалу в кислотних умовах та зменшують швидкість корозії.

Стійкість матеріалів в лужних середовищах може визначатися їхніми хімічними властивостями та реакціями:



при цьому утворюються аніони $Zn(OH)_4^{4-}$ та NbO_3^{2-} , які задіяні в процесі віддачі електронів, що призводить до розчинення чи деформації захисного шару, знижуючи корозійну стійкість сплаву [3].

3 Висновок

Таким чином, використання сучасних приладів MTech SPG-500F та мобільного аналізатора NITON XL2 дає можливість отримувати точні та швидкі результати щодо визначення корозійної стійкості та хімічного складу матеріалів. Такий інтегрований підхід забезпечує зручність, ефективність та достовірність в проведенні електрохімічних досліджень, сприяючи розвитку та вдосконаленню матеріалознавства й промисловості.

Під час корозії сплаву Zr1Nb відбувається утворення оксидних плівок на його поверхні, що призводить до зменшення товщини самого сплаву. Крім того, корозія може призводити до утворення мікротріщин і пітінгу на поверхні матеріалу.

Література

[1] Пацай І.О. Потенціостат-гальваностат MTech SPG-500F. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://mtech-lab.com.ua/devices.htm>.

[2] Patsayhor I., Maizelis Z., Maizelis A. Nonlinear potential scanning as a novel approach to calculation of the time variable galvanic displacement reaction rate // ChemElectroChem (9.4). 2022, e202101274.

[3] Hapon, Yu., Kustov, M., Chyrkina, M., Romanova O. Multistage Corrosion of Fuel Element Materials in Nuclear Reactors. Solid State Phenomena, 2022. V.334, P. 63–69.