

УДК 621.791.052:620.179.111

ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ АТМОСФЕРНОЇ КОРОЗІЇ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ МЕТОДОМ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОГО ОПОРУ

Л. І. НИРКОВА, С. Г. ПОЛЯКОВ, С. О. ОСАДЧУК,
С. Л. МЕЛЬНИЧУК, Н. О. ГАПУЛА

Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, Київ

Розглянуто методику визначення швидкості атмосферної корозії металевих конструкцій за поляризаційним опором, яка полягає в тому, що для підвищення чутливості вимірювань використано багатоелектродні давачі з коповерхневим розташуванням електродів. Досліджено роботоздатність чотирьох моделей електрохімічних давачів для моніторингу металоконструкцій в умовах атмосферної корозії за вологості повітря 100% та температур 24; 40; 50 і 70°C. Доведено, що, зменшуючи товщину ізоляційного прошарку, ширину електродів та їх кількість, можна підвищити точність та чутливість вимірювання швидкості корозії у вологій атмосфері. Розроблені давачі придатні для контролю швидкості корозії металевих конструкцій, що експлуатуються в атмосферних умовах, в тому числі в замкнутих об'ємах.

Ключові слова: швидкість корозії, електрохімічний давач для вимірювання швидкості атмосферної корозії, тонкий шар вологої плівки, вологість повітря, метод поляризаційного опору.

Багато видів корозійного руйнування металів протікають у тонких плівках електролітів. Тонкоплівкова корозія розвивається в атмосфері під захисними покриттями (полімерними, лакофарбовими), під шарами змащувальних та інших матеріалів за вологості повітря більше 60% за електрохімічним механізмом. Товщина плівок вологи тут змінюється від декількох моношарів молекул води до фазових плівок в десятки та сотні мікрон [1].

Атмосферну корозію здебільш спричиняють вологість та температура повітря, перепад температур, зміна циклів “зволоження-висихання”, діоксид сірки (промислова атмосфера) та хлорид натрію (морська атмосфера), що присутні в повітрі. Швидкість атмосферної корозії металів залежить від провідності тонкого шару електроліту, інтенсивності конденсації вологи на поверхні, наявності твердих частинок, через що збільшується провідність електроліту. Швидкість корозії за перший рік експлуатації металоконструкції може досягати 0,19 mm/year – верхня межа для найагресивніших атмосфер (категорія C5) згідно зі стандартом ISO 12944-2.

Швидкість відновлення кисню суттєво зростає під час висихання плівки електроліту, що корелює зі зростанням кількості кисню, перенесеного через товщу відновленої плівки.

Результати та їх обговорення. Нижче розробили підхід до визначення швидкості атмосферної корозії металевих конструкцій за методом поляризаційного опору та вибору оптимальної конструкції давача для моніторингу і прогнозування захисту металоконструкцій від атмосферної корозії у вологому повітрі за різних температур.

Миттєву швидкість атмосферної корозії об'єкта тривалої експлуатації можна оцінювати та контролювати електрохімічними датчиками, які містять системи моніторингу атмосферної корозії на експлуатованих об'єктах, в тому числі в замкнутих об'ємах: складських приміщеннях об'єктів виробництва агресивних речовин (кислот, лугів тощо), депо, а також НБК "Укриття" на Чорнобильській АЕС тощо.

Використовували метод поляризаційного опору, візуально оцінювали зовнішню поверхню датчиків та зразків, а також методом масометрії – товщину плівки вологи. Як відомо [2], класичні двоелектродні електрохімічні комірки непридатні для спостереження за тонкоплівковою корозією, оскільки омичний опір середовища великий, а швидкість корозії відносно мала. Тому методично коректно використовувати електрохімічні комірки з коповерхневим розташуванням електродів (рис. 1).

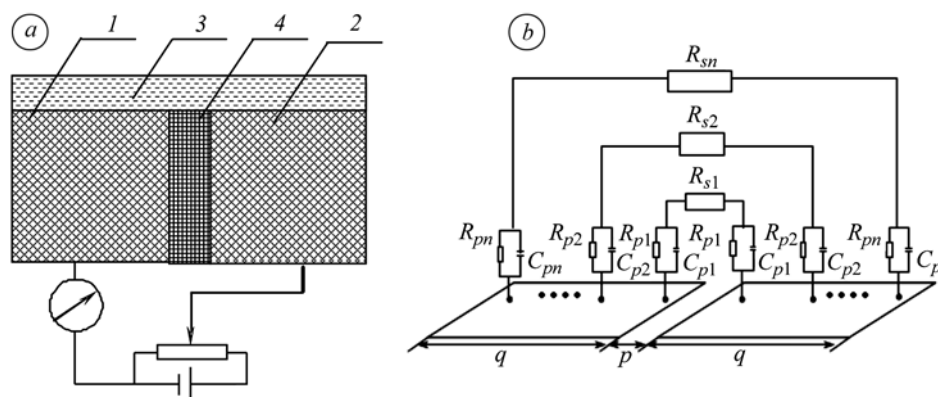


Рис. 1. Схема електрохімічних вимірювань у тонких плівках за коповерхневого розташування електродів (а) та еквівалентна електрична схема багателектродної системи з таким розміщенням електродів (б): 1, 2 – робочий та допоміжний електроди; 3 – електроліт; 4 – електроізолювальний прошарок (p – товщина електроізолювального прошарку; q – ширина електродів).

Fig. 1. Scheme of electrochemical measurements in thin films under cosurface arrangement of electrodes (a) and equivalent electrical circuit of multielectrode system with cosurface arrangement of electrodes (b): 1, 2 – work and auxiliary electrodes; 3 – electrolyte; 4 – insulating layer (p – thickness of insulating layer; q – width of electrodes).

Розглянемо методичний підхід до вимірювання швидкості атмосферної корозії за допомогою коповерхневих багателектродних датчиків. Для цього використаємо датчі чотирьох моделей (табл. 1.)

Таблиця 1. Характеристика досліджуваних датчиків

Датчі	Довжина електродів l , mm	Ширина електродів q , mm	Товщина електродів, mm	Товщина електроізолювального прошарку p , mm
Модель № 1, двоелектродний датчик	45	10	5,8	0,300...0,325
Модель № 2, двоелектродний датчик	50	10	2	0,150...0,200
Модель № 3, чотириелектродний датчик	50	2	10	0,065...0,070
Модель № 4, восьмиелектродний датчик	50	3	2	0,120...0,140

Швидкість корозії визначали в модельованих атмосферних умовах, термостатованих за температур 24; 40; 50 і 70°C, відносної вологості 100% та конденсації води на металевій поверхні. У лабораторних умовах розраховували товщину вологої плівки електроліту. Виявили, що при 24°C впродовж 20 min навіть за 100% вологості повітря без конденсації води на поверхні металу утворювалась дуже тонка плівка завтовшки від 0,6 до 3,0 μm . За температур від 40 до 70°C та впродовж 20 min волога конденсувалась на поверхні зразків та утворювались видимі фазові плівки. Товщина шару води від 17 до 45 μm .

З урахуванням технологічних можливостей під час виготовлення датчиків старались, щоб товщина електроізолювального прошарку між електродами була сумірна з товщиною вологого шару на поверхні датчика. Товщину електроізолювального прошарку вибирали, ґрунтуючись на результатах про товщину вологого шару електроліту, що утворився на поверхні датчика під час досліджень. Відомо, що товщина цього шару в умовах конденсації води може досягати 300 μm [1, 2]. Для підвищення точності вимірювань збільшували кількість електродів датчика.

Відомо [1], що коповерхневість електродів може призвести до того, що між досить віддаленими від ізолювального прошарку ділянками електродів сума омичного та поляризаційного опорів буде суттєво вища, ніж між тими, що безпосередньо прилягають до ізолювального прошарку (рис. 1b). Це може спричинити вилучення віддалених ділянок з вимірювань, що зумовить помилки у визначенні швидкості корозії i_k . Тому зменшували ширину електродів.

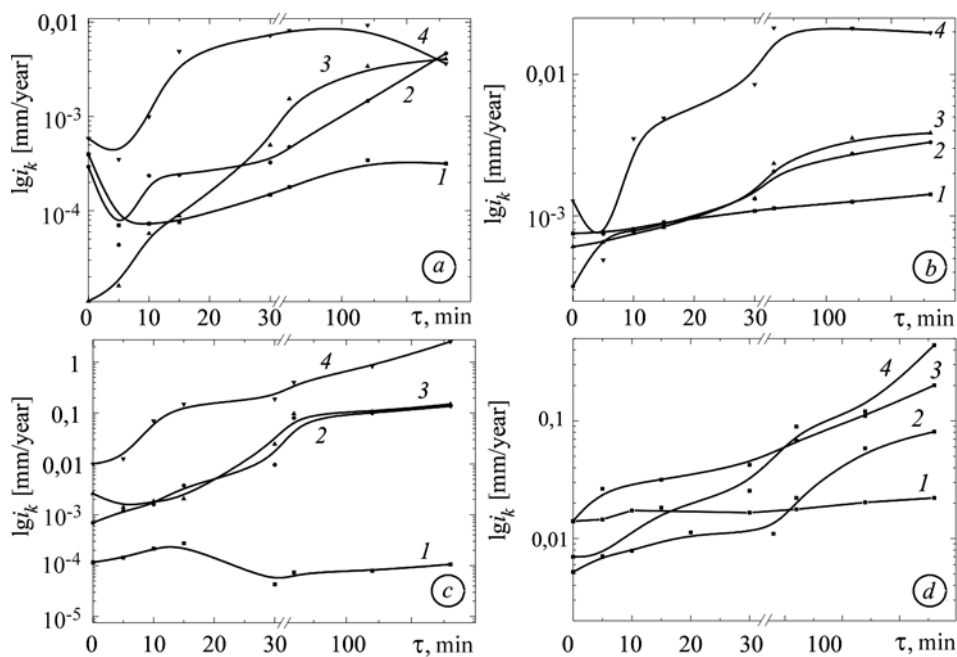



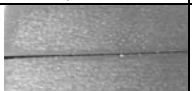


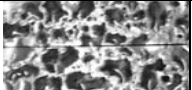
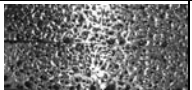

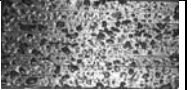
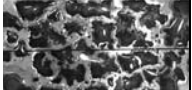
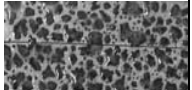


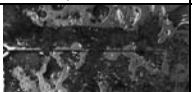
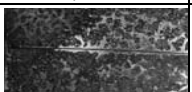
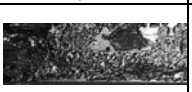

Рис. 2. Швидкість корозії сталі Ст.3 у напівлогарифмічних координатах та за відносної вологості 100%, виміряна за допомогою датчиків різних моделей: а – модель № 1; б – № 2; с – № 3; д – № 4; 1 – 24°C; 2 – 40; 3 – 50; 4 – 70°C.

Fig. 2. Corrosion rate of St.3 steel in semi-logarithmic coordinates at different temperatures and relative humidity 100%, measured by the sensors of different models: а – model № 1; б – № 2; с – № 3; д – № 4; 1 – 24°C; 2 – 40; 3 – 50; 4 – 70°C.

У табл. 2 та на рис. 2 подано результати вимірювання швидкості атмосферної корозії сталі Ст. 3 за допомогою датчиків різних моделей за різних температур повітря та відносної вологості 100% з її конденсацією на металевій поверхні.

З аналізу експериментальних результатів випливає, що значення швидкості корозії, визначені за допомогою двоелектродного давача (модель 1) за різних температур, відрізнялись несуттєво, не дивлячись на те, що візуально швидкість корозії з підвищенням температури значно збільшувалась (табл. 2 та рис. 2a). Це підтвердило висновок про те, що між віддаленими від ізолювального прошарку ділянками електродів сума омичного та поляризаційного опорів була значно вища, ніж між тими, що безпосередньо прилягали до прошарку (рис. 1b). Це і стало причиною вилучення віддалених ділянок з вимірювань та призвело до помилок у визначенні швидкості корозії i_k .

Таблиця 2. Швидкість корозії сталі Ст. 3 залежно від температури за 100% вологості повітря, виміряна за допомогою давачів різних моделей через 3 h експонування

Умови досліджень	Швидкість корозії, mm/year			
	модель № 1	модель № 2	модель № 3	модель № 4
24°C	0,00032	0,0014	0,0011	0,022
				
40°C	0,0047	0,0033	0,136	0,081
				
50°C	0,0041	0,0039	0,150	0,2
				
70°C	0,0036	0,020	2,52	0,44
				

Тому, щоб підвищити точність вимірювань, зменшували товщину електроізолювального прошарку. Перехідний питомий електричний опір ізолювального прошарку між пластинами збільшували за допомогою модифікованих лакофарбових композицій під час виготовлення давача моделі № 2. Виявили, що з підвищенням температури повітря швидкість корозії зростає (табл. 2 та рис. 2b). Максимальних значень вона набуває впродовж першої години, а потім стабілізується. Зменшуючи товщину електроізолювального прошарку, отримали різницю в значеннях швидкості корозії за різних температур, але, як і під час застосування давача моделі № 1, віддалені від електроізолювального прошарку ділянки випали з вимірювань, що призвело до неправильного оцінювання параметра i_k . Щоб уникнути цього, продовжували зменшувати ширину робочої поверхні електродів давача та збільшували їх кількість. Для цього виготовили та дослідили чотириелектродний давач (модель № 3). Виявили, що з ростом температури вологого повітря від 24 до 70°C швидкість корозії збільшується на чотири порядки (табл. 2, рис. 2c). Як і для двоелектродного давача (модель № 2), вона досягає максимальних значень за першу годину, а потім уповільнюється. Зменшуючи ширину електродів та збільшуючи їх кількість, отримали суттєву різницю в значеннях швидкості корозії за різних температур, що підтвердили візуальні спостереження поверхні давача.

Для подальшого підвищення чутливості давача кількість електродів збільшували до восьми (модель № 4). Як бачимо (див. табл. 2 та рис. 2d), значення

швидкості корозії, отримані за допомогою чотири- та восьмиелектродних датчиків є близькі, що підтверджує достовірність вимірювань. Підвищене значення при 70°C, одержане на чотириелектродному датчачі, можемо пояснити тим, що оскільки його товщина була більшою, то між поверхнею датчача та повітрям градієнт температур був вищим, що активувало корозію.

Слід відзначити, що температура поверхні датчача на 2–3 градуси нижча, ніж повітря (рис. 3), через що інтенсифікувались корозійні процеси.

ВИСНОВКИ

Розглянуто підхід до визначення швидкості атмосферної корозії металевих конструкцій методом поляризаційного опору, який полягає в тому, що для підвищення чутливості вимірювань використали багатоелектродні датчачі з коповерхневим розташуванням електродів. Перевірено робоздатність чотирьох моделей електрохімічних датчачів для моніторингу металоконструкцій в умовах атмосферної корозії за вологості повітря 100% та температур 24; 40; 50 і 70°C. Дове-

дено, що, зменшуючи товщину ізоляційного прошарку та ширину електродів, а також збільшуючи їх кількість, можна підвищити точність та чутливість вимірювання швидкості корозії у вологій атмосфері.

РЕЗЮМЕ. Рассмотрен подход к определению скорости атмосферной коррозии металлоконструкций методом поляризационного сопротивления, который заключается в том, что для повышения чувствительности измерений использованы многоэлектродные датчики с коповерхностным расположением электродов. Исследована работоспособность четырех моделей электрохимических датчиков для мониторинга металлоконструкций в условиях атмосферной коррозии при влажности воздуха 100% и температурах 24; 40; 50 и 70°C. Доказано, что за счет уменьшения толщины изоляционного слоя, ширины электродов и увеличения их количества можно повысить точность и чувствительность измерения скорости коррозии во влажной атмосфере. Разработанные датчики будут применены для контроля скорости коррозии металлических конструкций, эксплуатирующихся в условиях атмосферы, в том числе в замкнутых объемах.

SUMMARY. The methodological approach to determination of atmospheric corrosion rate of metal constructions by the polarization resistance method, which consists in the fact that for increase of the sensitivity of measurements four models of multi-electrode sensors with cosurface location of electrodes were developed, was considered. The functionality of four models of electrochemical sensors for monitoring of steel corrosion in atmospheric conditions at 100% humidity and temperatures 24; 40; 50 and 70°C was investigated. It is proved that by decreasing the thickness of the insulating layer, the width of electrodes and growth of their number it is possible to increase the accuracy and sensitivity of corrosion rate measuring in humid atmosphere. The developed sensors will be used to control the corrosion rate of metal structures working in atmospheric conditions, including closed premises.

1. Розенфельд Л. И. Атмосферная коррозия металлов. – М.: Изд-во Академии наук СССР, 1960. – 372 с.
2. Чвірук В. П., Поляков С. Г., Герасименко Ю. С. Електрохімічний моніторинг техногенних середовищ. – К.: Академперіодика, 2007. – 332 с.

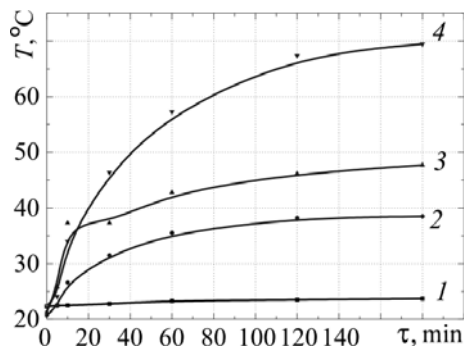


Рис. 3. Температура поверхні датчача за різних температур повітря: 1 – 24°C; 2 – 40; 3 – 50; 4 – 70°C.

Fig. 3. Temperature of the sensor surface at different temperatures of air: 1 – 24°C; 2 – 40; 3 – 50; 4 – 70°C.