

УДК 621.357

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2025.6.1/25>

**Бровін О.Ю.**

Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»

**Коваленко Ю.І.**

Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»

**Лещенко С.А.**

Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»

**Дерібо С.Г.**

Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»

**Чорна Н.А.**

Інститут енергетичних машин і систем імені А.М. Підгорного  
Національної академії наук України

## АНОДНА ПОВЕДІНКА МАГНІЮ І ЙОГО СПЛАВІВ У РОЗЧИНІ ХЛОРИДІВ

*Попри високий енергетичний потенціал та унікальні фізико-механічні властивості, ефективність використання магнію у системах протекторного захисту і хімічних джерелах струму часто обмежується його схильністю до швидкого саморозчинення. В роботі досліджено кінетику анодного розчинення чистого магнію та його сплавів: промислового сплаву МА2-1 (система Mg-Al-Zn-Mn) та експериментального сплаву МС (система Mg-Pb із вмістом свинцю 2–3%) у хлоридних розчинах. Аналіз потенціодинамічних досліджень дозволив встановити суттєві відмінності в анодній поведінці досліджуваних матеріалів. Доведено, що сплав МА2-1 демонструє найвищу швидкість корозії. Натомість сплав МС (Mg-Pb) продемонстрував найнижчу швидкість саморозчинення, що в 1,9 рази менше порівняно зі сплавом МА2-1. Цей ефект досягається завдяки присутності свинцю, на якому перенапряга виділення водню значно вища, що призводить до гальмування катодної водневої реакції. Аналіз результатів гальванодинамічних досліджень виявив наявність трьох характерних ділянок зміни потенціалу, які відображають стадійність анодного процесу. Спочатку відбувається різке зміщення потенціалу в позитивну область, пов'язане з формуванням поверхневої плівки  $Mg(OH)_2$  внаслідок адсорбції хлорид-іонів та утворення пересиченого розчину  $MgCl_2$  в приелектродному шарі. Далі відбувається зміщення потенціалу в бік негативних значень, що відповідає руйнуванню пасивної плівки та активації поверхні з інтенсивним утворенням водню. На третій ділянці відбувається інтенсивне анодне розчинення при компромісному потенціалі. Встановлено, що для сплаву МС стрибки потенціалу на першій стадії є меншими, а залежність  $\Delta E - \lg j$  має лінійний характер, що свідчить про зміну лімітуючої стадії процесу під впливом свинцю. Розрахунковий коефіцієнт Тафеля  $b > 0,4$  для всіх зразків магнію і його сплавів вказує на складний кінетичний контроль, що включає хімічні та дифузійні стадії. Результати побудови корозійних діаграм підтвердили, що легування магнію є свинцем ефективним методом зниження швидкості саморозчинення у хлоридних середовищах.*

**Ключові слова:** магній, анодний матеріал, анодне розчинення, саморозчинення, поляризаційні дослідження.

**Постановка проблеми.** Магній у чистому вигляді і у складі сплавів застосовується як конструкційний матеріал для авіа-, автомобіле- та суднобудування, анодний матеріал для систем електрохімічного протекторного захисту від корозії і у складі електродів резервних хімічних джерел струму. Сплави магнію мають комплекс корисних фізико-механічних властивостей, але, в багатьох середовищах, досить швидко кородують [1]. Поширені промислові сплави магнію з алюмінієм, цинком і марганцем демонструють нерівномірність розчинення і високу швидкість саморозчинення завдяки негативному диференц-ефекту (Negative Difference Effect, NDE) [2].

Такі особливості поведінки заважають реалізації великого енергетичного потенціалу магнію і його сплавів як анодних матеріалів. Через виражений NDE сплави магнію у хлоридних розчинах розчиняються струмом лише на 25-40%, а 75-60% втрачаються через саморозчинення і дезінтеграцію. Ці самі явища заважають ефективному використанню магнію у складі електродних матеріалів хімічних джерел струму. Навіть за сприятливих умов розряду гальванічного елементу коефіцієнт використання магнію не перевищує 0,65. Для вирішення таких проблем потрібні нові анодні матеріали на основі магнію, які дозволять зменшити швидкість саморозчинення зі збереженням електрохімічної активності. Саморозчинення магнію складається з двох суміщених процесів, а саме: розчинення магнію і відновлення води до водню. Тому перспективним шляхом гальмування саморозчинення є введення у склад магнієвих сплавів металевих компонентів з підвищеною перенапругою відповідної водневої реакції, наприклад, свинцю.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Експериментальні дослідження анодної поведінки магнію і його сплавів у сольових розчинах впродовж останніх десятиріч продовжуються у контексті матеріалів електродів для протекторного захисту і резервних джерел струму. Хлоридні розчини є агресивними для магнію через високу хімічну активність чистого металу і його сплавів. За останні роки опубліковано низку досліджень, що вивчають механізми анодних процесів, роль поверхневих плівок і вплив електролітів. Дослідження анодного розчинення магнію в хлоридних середовищах часто пов'язують з NDE.

У роботі [3] було досліджено формування анодної поверхневої плівки на магнії. Встановлено, що зі зростанням потенціалу плівка товщає, стає більш пористою і зменшує опір. Анодне утворення

водню (Anodic Hydrogen Evolution, АНЕ) зростає при потенціалах вище рівноважного для водню, що свідчить про АНЕ на поверхні металу у порах плівки. АНЕ відбувається через окиснення Mg до  $Mg^+$  і реакцію з водою. За високих потенціалів (-0,2 В) АНЕ призводить до розриву поверхневої плівки і прискорення корозійного процесу.

У дослідженні [4] проаналізовано розчинення Mg у фосфатних і хлоридних електролітах. У хлоридних розчинах зареєстровано агресивний вплив хлоридів, що призводять до локального руйнування поверхневої плівки. Автори роботи [5] досліджували АНЕ в умовах безперервного збільшення площі свіжої металевої поверхні, створеного шляхом абразивного механічного впливу на поверхню і хімічного впливу розчинів NaCl під час анодної поляризації. Встановлено, що водень на магнієвому аноді утворюється в результаті прямої хімічної реакції між відкритим Mg і електролітом.

У сульфатних розчинах корозійні процеси менш агресивні, ніж у хлоридних. Автори дослідження за допомогою електрохімічних методів [6] встановили вплив рН середовища і концентрації сульфат-іонів на корозійні властивості магнію і магнієвого сплаву ZE41. Більша концентрація сульфату при кожному значенні рН і більш низькі значення рН при кожній концентрації сульфату призводили до збільшення швидкості корозії. На стійкість сплавів магнію у сульфатних розчинах також впливає легування. У роботі [7] досліджено корозію та корозійну втому легованих сплавів у сульфатних розчинах. Встановлено, що легування Zn, Ca, Sn покращує пасивацію, зменшуючи анодне розчинення. У дослідженні [8] спостерігався такий саме вплив домішок Ca і Zn на анодний процес.

Нажаль, системні дослідження добавок свинцю на анодну поведінку магнієвих сплавів у літературі майже відсутні.

**Постановка завдання.** Метою статті є дослідження кінетики анодного розчинення магнію і його сплавів МА2-1 та МС (вміст Pb від 2 до 3%) в хлоридних розчинах.

**Виклад основного матеріалу.** Анодні процеси досліджувались за характером зміни швидкості розчинення магнієвих електродів шляхом зміни потенціалу або густини струму, тобто потенціодинамічними і гальванодинамічними поляризаційними методами в розчинах NaCl.

Для загальної характеристики анодного процесу в хлоридних розчинах були отримані потенціодинамічні поляризаційні залежності в розчині NaCl 0,17 моль/дм<sup>3</sup> на зразках чистого магнію,

конструкційного сплаву МА2-1, який використовується для виготовлення протекторів, і сплаву МС. На підставі досліджень було побудовано поляризаційні діаграми зображені на рис. 1. Катодні графіки поляризаційної діаграми характеризують залежність зміни струму від потенціалу. Чистий магній має фізично і хімічно однорідну поверхню. Хід анодної залежності на магнії відповідає зміщенню потенціалу від стаціонарного в позитивну сторону з одночасним збільшенням швидкості розчинення. При потенціалі  $E = -1.09$  В струм корозії магнію становить  $8 \cdot 10^{-3}$  А/см<sup>2</sup>.

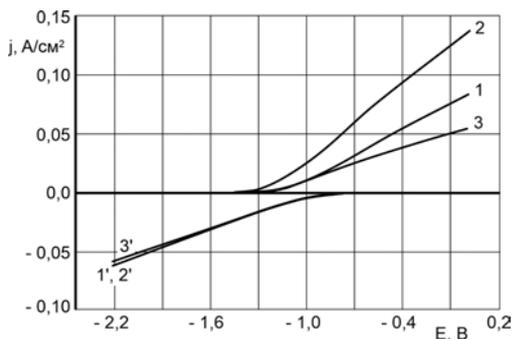


Рис. 1. Поляризаційна діаграма для магнію (1,1'), сплаву МА2-1 (2,2') і сплаву МС (3,3') при швидкості зміни потенціалу 0,01 В/с у розчині NaCl 0,17 моль/дм<sup>3</sup>

Поверхня сплаву МА2-1, який містить до 5% алюмінію і до 1,5% цинку, є фізично і хімічно неоднорідною. Результати аналізу анодних залежностей для сплаву МА2-1 свідчать про збільшення швидкості розчинення зі зростанням анодної поляризації. Струм корозії в цьому випадку становить  $11,5 \cdot 10^{-3}$  А/см<sup>2</sup> за потенціалу -1,17 В. Суттєвий струм корозії сплаву МА2-1 в хлоридному розчині з'являється за більш негативних потенціалах, ніж у чистого магнію. Збільшення швидкості корозії на цьому сплаві в 1,4 рази можна пояснити діяльністю локальних гальванічних елементів Mg-Zn і Mg-Al, де цинк і алюміній вико-

нують функції катодів. Водень утворюється не тільки на Al і Zn, але й на поверхні кородуючого Mg. Також до виникнення локального струму призводить встановлення різних змішаних потенціалів через різні перенапруги на кристалографічно різних поверхнях.

Сплав МС має дрібнокристалічну структуру, а його поверхня демонструє тільки хімічну неоднорідність. Аналіз анодних залежностей на сплаві МС при зміщенні потенціалів в позитивну область свідчить про зростання швидкості розчинення, але в меншій мірі, ніж для сплаву МА2-1. Струм корозії для сплаву МС становить  $6 \cdot 10^{-3}$  А/см<sup>2</sup> за потенціалу -1,04 В. Це в 1,9 рази менше в порівнянні зі швидкістю корозії сплаву МА2-1. Більш повільне розчинення, можливо, зумовлено виникненням локальних гальванічних елементів Mg-Pb, на катодних ділянках яких спостерігається суттєво більша перенапряга виділення водню, а корозія магнію відбувається з водневою поляризацією.

Для дослідження особливостей перебігу анодного процесу в хлоридних розчинах були виконані гальванодинамічні поляризаційні дослідження в хлоридному розчині на зразках чистого магнію, сплаву МА2-1 і МС. Графічна інтерпретація результатів анодних гальванодинамічних вимірювань наведені на рис. 2.

На чистому магнії (рис. 2а) залежно від швидкості зростання густини струму зміна потенціалу має три виражені ділянки. Перша ділянка фіксується в інтервалі густини струму від 0 до 0,005 А/см<sup>2</sup> і її тривалість визначається швидкістю розгортки струму. Ця ділянка характеризується різким зміщенням потенціалу в позитивну область. Залежно від швидкості зміни струму зміна потенціалу становить від 0,271 В (при  $1 \cdot 10^{-4}$  А/с) до 1,6 В (при  $1 \cdot 10^{-2}$  А/с). Таке різке зміщення потенціалу обумовлено утворенням пересиченого розчину Mg(OH)<sub>2</sub> в дифузійному приелектродному шарі, тобто перебігом реакцій:

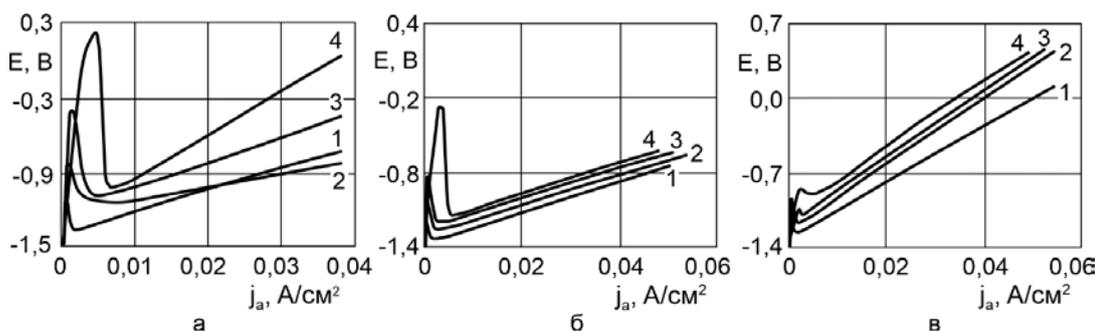
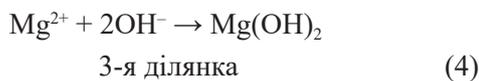
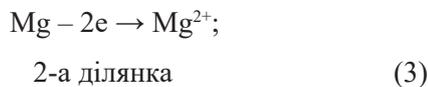
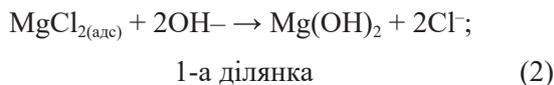
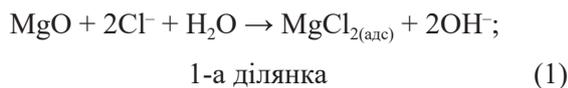


Рис. 2. Анодні гальванодинамічні поляризаційні залежності у розчині 0,17 моль/дм<sup>3</sup> NaCl на магнії (а), сплаві МА2-1 (б) і сплаві МС (в) при швидкості зміни струму, А/с: 1 –  $1 \cdot 10^{-4}$ ; 2 –  $1 \cdot 10^{-3}$ ; 3 –  $2 \cdot 10^{-3}$ ; 4 –  $1 \cdot 10^{-2}$



Поверхневий шар оксиду магнію адсорбує аніони  $\text{Cl}^-$  і вони витісняють адсорбований кисень і гідроксильні аніони, утворюючи шар  $\text{MgCl}_2$ . У відповідності до адсорбційної теорії анодного розчинення адсорбовані іони  $\text{Cl}^-$  сприяють виходу іонів магнію з кристалічної решітки. Залежно від концентрації іонів-адсорбентів у дифузійному прианодному шарі накопичуються іони магнію з утворенням хлориду магнію.

Розчинність  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  невелика і становить  $8,4 \cdot 10^{-3}$  г/дм<sup>3</sup> і його новоутворений шар гальмує подальший вихід іонів магнію в електроліт. З видаленням з поверхні магнію кисню і гідроксильних іонів прискорюється хімічна реакція взаємодії магнію з водою, якій відповідає 2-га ділянка графіків. На ній спостерігається зміщення потенціалу електрода в негативну область до величин від -1,04 до -1,32 В, залежно від швидкості зміни струму. На цій ділянці відбувається руйнування шару  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , яке супроводжується утворенням гідратованих іонів магнію і розчиненням оксидної плівки на магнієвій поверхні. На активній поверхні магнію виникає короткозамкнений гальванічний елемент магній-вода. В підсумку, на поверхні електрода одночасно відбувається анодне розчинення магнію і катодне відновлення води до водню:



На третій ділянці відбувається рівномірне зміщення потенціалу в позитивний бік, яке супроводжується електрохімічним і хімічним розчиненням магнію з утворенням водню. Реакції електрохімічного і хімічного розчинення магнію є конкуруючими. Співвідношення швидкостей зазначених реакцій визначає компромісний потенціал розчинення магнію. Зі збільшенням густини струму, компромісний потенціал стає більш позитивним.

Магнієвий сплав МА2-1, що містить у своєму складі алюміній, цинк і марганець, при анодному розчиненні має такі ж області, як анодні залежності на чистому магнії. З ходу графіків на рис. 2б

можна зробити висновок, що добавки впливають на характер розчинення. Стрибки потенціалів у першій області виражені в меншій мірі і становлять 0,36; 0,6; 0,68 і 1,22 В для відповідних швидкостей зміни струму. На другій ділянці анодних поляризаційних залежностей зміщення потенціалу в негативну область відбувається до приблизно таких же значень, як і для чистого магнію. Третя ділянка графіків характеризується меншою швидкістю зміщення потенціалу в позитивну область порівняно з аналогічними графіками для чистого магнію.

На зразках сплаву МС загальний вигляд анодних гальванодинамічних залежностей не змінюється (рис. 2в) і зберігаються три ділянки. На першій ділянці стрибки потенціалу набагато менші в порівнянні з рис. 2а і рис. 2б, причому  $\Delta E_a$  зменшується зі збільшенням швидкості зміни струму у порівнянні з чистим магнієм і сплавом МА2-1. Зсув потенціалу становить 0,44; 0,48; 0,59 і 0,71 В для відповідних швидкостей. На другій ділянці графіків зміщення потенціалу в негативну сторону незначне. Такі відмінності в ході залежностей, можливо, зумовлені суттєво меншою швидкістю утворення  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  в приелектродному шарі і на поверхні електрода, або утворенням шару з гіршими захисними властивостями, який легше руйнується при подальшому збільшенні струму. Третя ділянка характеризується більшим нахилом поляризаційних залежностей у порівнянні з чистим магнієм і сплавом МА2-1. Відмінність у нахилах обумовлена присутністю в сплаві цинку і свинцю, який істотно змінює кристалічну решітку сплаву. Під час анодної поляризації сплаву МА2-1 крім розчинення магнію паралельно відбувається розчинення алюмінію і цинку. Слід зазначити, що швидкість розчинення магнію і його сплавів при збільшенні швидкості зміни струму знижується. Це явище можна пояснити утрудненою дифузією продуктів реакції.

Тривалість 1-ї та 2-ї ділянок анодних гальванодинамічних залежностей для магнію та його сплавів зменшується в ряду чистий магній > сплав МА2-1 > сплав МС. Це пояснюється різною швидкістю утворення та руйнування гідроксиду магнію.

Для визначення стадії, що лімітує процес анодного розчинення, було виконано аналітичну обробку першої ділянки залежностей анодного розчинення магнію та його сплавів (рис. 2) у координатах електрохімічної кінетики у розчині  $\text{NaCl}$ . На рис. 3 наведено інтерпретацію першої області поляризаційних графіків, яка демонструє відсутність чіткого переходу в прямолінійну залеж-

ність на чистому магнії. Для сплаву МА2-1 ця залежність трохи вирівнюється, а для сплаву МС залежність  $\Delta E - \lg j$  має лінійний характер і для мінімальної і для максимальної швидкості зміни струму. Швидкість окиснення чистого магнію зазвичай визначається електрохімічною перенапругою, але з графічної інтерпретації першої області поляризаційних залежностей можна зробити висновок про вплив на швидкість окиснення хімічної реакції утворення гідроксиду, що блокує вихід іонів магнію з кристалічної решітки. Слід зазначити, що практично на всіх графіках немає чітких прямолінійних ділянок, окрім 2-х графіків для сплаву МС. Відсутність прямолінійності пояснюється складними процесами анодного розчинення за участю компонентів сплаву. Лінійний характер залежностей  $\Delta E - \lg j$  для сплаву МС обумовлений переважним впливом свинцю, який забезпечує найбільшу перенапругу утворення водню в порівнянні з іншими компонентами сплаву. Розрахунковий коефіцієнт  $b$  рівняння Тафеля для всіх графіків становить понад 0,4, що свідчить про значний вплив хімічної та дифузійної стадій на сумарну електродну реакцію.

Використовуючи методику оцінки швидкості самочинних процесів, було виконано побудову корозійних діаграм на досліджуваних сплавах у хлоридних розчинах. Струм корозії для чистого магнію (рис. 4) в хлоридному розчині при швидкості зміни струму  $1 \cdot 10^{-2}$  А/с становить величину  $8,2 \cdot 10^{-3}$  А/см<sup>2</sup> і ця величина майже повністю збігається зі значенням струму, отриманого при аналізі потенціодинамічних залежностей (рис. 1). Струм корозії для чистого магнію за швидкості зміни струму  $1 \cdot 10^{-4}$  А/с становить  $11 \cdot 10^{-3}$  А/см<sup>2</sup>.

Найнижча швидкість зміни струму  $1 \cdot 10^{-4}$  А/с наближається до стаціонарних умов. Збільшення струму корозії в стаціонарних умовах пояснюється присутністю в приелектродному шарі суттєвої концентрації активуючих аніонів Cl<sup>-</sup>. Вони утворюють на поверхні металу адсорбований комплекс, який легко втрачає зв'язок з основною масою поверхні і переходить в розчин. Також аніон Cl<sup>-</sup> частково нейтралізує пасивуючу дію кисню і гідроксильних аніонів, адсорбційно витісняючи їх з поверхні металу. В результаті відбувається оголення поверхні і виникає гальванічний короткозамкнутий елемент магній – вода. Тобто

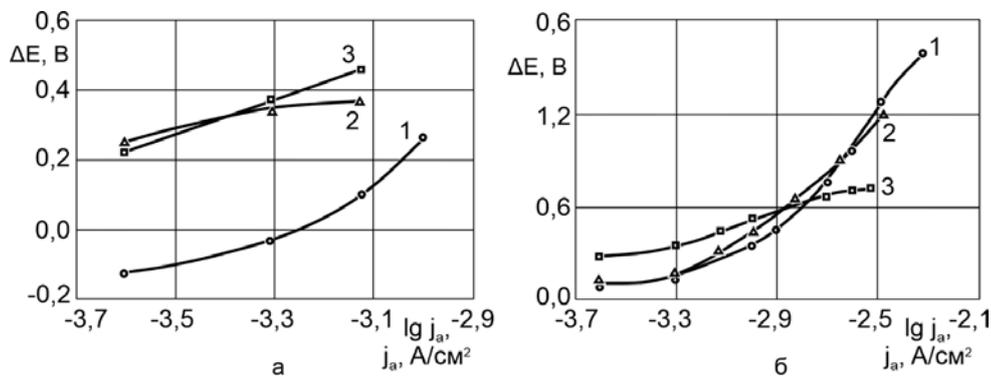


Рис. 3. Інтерпретація 1-ої ділянки гальванодинамічних залежностей (рис. 2) в координатах електрохімічної кінетики для розчину NaCl 0,17 моль/дм<sup>3</sup> при швидкостях зміни струму  $1 \cdot 10^{-4}$  А/с (а) і  $1 \cdot 10^{-2}$  А/с (б) для чистого магнію (1), сплаву МА2-1 (2) і сплаву МС (3)

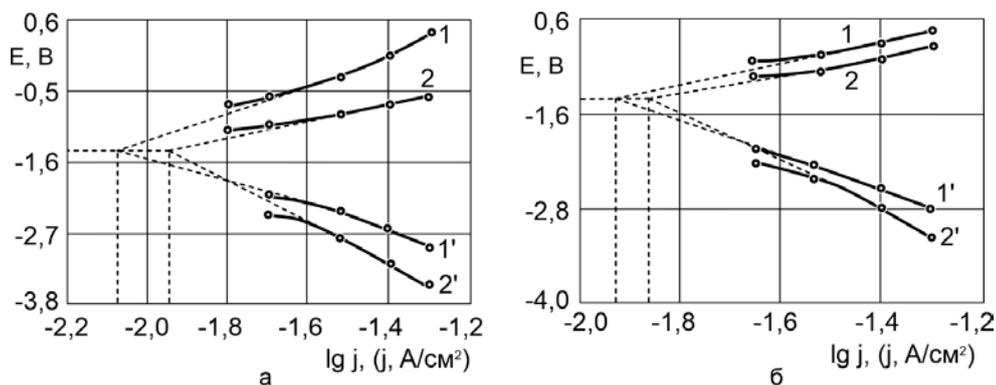
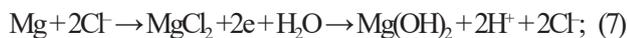
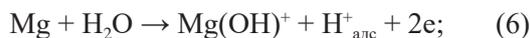


Рис. 4. Корозійна діаграма для чистого магнію (а) і сплаву МА2-1 (б) в розчині NaCl 0,17 моль/дм<sup>3</sup> при швидкості зміни струму, А/с: 1,1' -  $1 \cdot 10^{-2}$ ; 2,2' -  $1 \cdot 10^{-4}$

на електроді одночасно з розрядом відбувається і саморозряд магнію. На активній поверхні відбуваються наступні реакції:



Для сплаву МС (рис. 5) величини струмів корозії нижчі, ніж для чистого магнію і сплаву МА2-1 (рис. 4) за обох швидкостей зміни струму. Для швидкості  $1 \cdot 10^{-2}$  А/с струм корозії встановлено на рівні  $6,4 \cdot 10^{-3}$  А/см<sup>2</sup>, а для  $1 \cdot 10^{-4}$  А/с –  $8,5 \cdot 10^{-3}$  А/см<sup>2</sup>. Зниження швидкості корозії сплаву МС у порівнянні з чистим магнієм і сплавом МА2-1 можна пояснити присутністю свинцю, на якому перенапряга виділення водню більша, ніж на інших компонентах сплаву, а корозія магнію відбувається з переважним катодним контролем з водневою деполаризацією.

Для сплаву МС різниця в струмах корозії при різних швидкостях зміни струму приблизно така ж, як і для сплаву МА2-1, але менша, ніж для чистого магнію. Це можна пояснити особливістю переносу заряджених часток і сполук у дифузійному приелектродному шарі. Зміна швидкості поляризації неминуче призводить до зміни електричного поля в цій зоні, що впливає на загальну швидкість електродної реакції.

Величини струмів корозії для сплаву МА2-1 найбільші в порівнянні з чистим магнієм і спла-

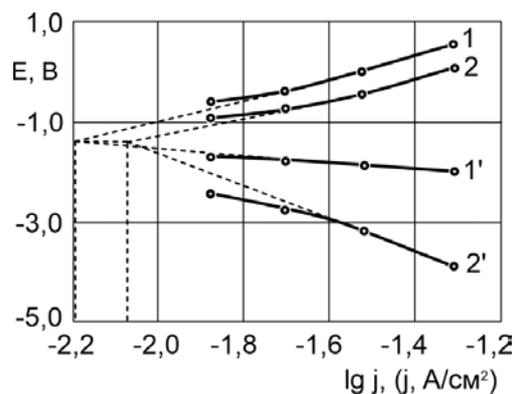


Рис. 5. Корозійна діаграма для сплаву МС в розчині NaCl 0,17 моль/дм<sup>3</sup> при швидкості зміни струму, А/с: 1,1' -  $1 \cdot 10^{-2}$ ; 2,2' -  $1 \cdot 10^{-4}$

вом МС для обох швидкостей зміни струму. Для швидкості  $1 \cdot 10^{-2}$  А/с струм корозії встановлено на рівні  $11,9 \cdot 10^{-3}$  А/см<sup>2</sup>, для  $1 \cdot 10^{-4}$  А/с –  $13 \cdot 10^{-3}$  А/см<sup>2</sup>. Це пояснюється роботою локальних гальванічних елементів Mg-Al і Mg-Zn на поверхні сплаву.

**Висновки.** Вивчено анодну поведінку магнію та його сплавів (МА2-1 і МС) у розчині NaCl 0,17 моль/дм<sup>3</sup> при швидкості зміни потенціалу  $1 \cdot 10^{-2}$  В/с і швидкості зміни струму, А/с:  $1 \cdot 10^{-4}$ ,  $1 \cdot 10^{-3}$ ,  $2 \cdot 10^{-3}$  і  $1 \cdot 10^{-2}$ . Встановлено, що для магнієвого сплаву зі свинцем швидкість анодного розчинення менша порівняно зі сплавом МА2-1. Струм корозії для сплаву МС менший порівняно з чистим магнієм і сплавом МА2-1 при всіх досліджених швидкостях зміни потенціалу і струму.

#### Список літератури:

1. Wei L., Gao Z. Recent research advances on corrosion mechanism and protection, and novel coating materials of magnesium alloys: a review. *RSC Advances*. 2023. Vol. 13, no. 12. P. 8427–8463. URL: <https://doi.org/10.1039/d2ra07829e>
2. Anodic dissolution dictates the negative difference effect (NDE) of magnesium corrosion more in chemical pathway / W. Zhang et al. *Materials Letters*. 2018. Vol. 232. P. 54–57. URL: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2018.08.069>
3. Song G.L., Unocic K. A. The anodic surface film and hydrogen evolution on Mg. *Corrosion Science*. 2015. Vol. 98. P. 758–765. URL: <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2015.05.047>
4. Mg Dissolution in Phosphate and Chloride Electrolytes: Insight into the Mechanism of the Negative Difference Effect / S. Lebouil et al. *CORROSION*. 2015. Vol. 71, no. 2. P. 234–241. URL: <https://doi.org/10.5006/1459>
5. Anodic dissolution dictates the negative difference effect (NDE) of magnesium corrosion more in chemical pathway / W. Zhang et al. *Materials Letters*. 2018. Vol. 232. P. 54–57. URL: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2018.08.069>
6. Dinodi N., Nityananda Shetty A. Investigation of influence of medium ph and sulfate ion concentrations on corrosion behavior of magnesium alloy ZE41. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2014. Vol. 50, no. 2. P. 149–156. URL: <https://doi.org/10.3103/s1068375514020112>
7. Song G. L. Corrosion electrochemistry of magnesium (Mg) and its alloys. *Corrosion of Magnesium Alloys*. 2011. P. 3–65. URL: <https://doi.org/10.1533/9780857091413.1.3>
8. Corrosion Behavior in Magnesium-Based Alloys for Biomedical Applications / L. Xu et al. *Materials*. 2022. Vol. 15, no. 7. P. 2613. URL: <https://doi.org/10.3390/ma15072613>

**Brovin O.Yu., Kovalenko Yu.I., Leshchenko S.A., Deribo S.G., Chorna N.A. ANODIC BEHAVIOR OF MAGNESIUM AND MAGNESIUM ALLOYS IN CHLORIDE SOLUTIONS**

*Despite its high energy potential and unique physical and mechanical properties, the effectiveness of magnesium in protective systems and chemical current sources is often limited by its tendency to rapidly dissolve. The work investigates the kinetics of anodic dissolution of pure magnesium and its alloys: industrial alloy MA2-1 (Mg-Al-Zn-Mn system) and experimental alloy MC (Mg-Pb system with 2–3% lead content) in chloride solutions. Analysis of potentiodynamic studies revealed significant differences in the anodic behavior of the studied materials. It was proven that the MA2-1 alloy exhibits the highest corrosion rate. In contrast, the MS alloy (Mg-Pb) demonstrated the lowest self-dissolution rate, which is 1.9 times lower than that of the MA2-1 alloy. This effect is achieved due to the presence of lead, on which the hydrogen evolution overpotential is significantly higher, leading to inhibition of the cathodic hydrogen reaction. Analysis of the results of galvanodynamic studies revealed the presence of three characteristic areas of potential change, which reflect the stages of the anodic process. First, there is a sharp shift in potential to the positive region, associated with the formation of a  $Mg(OH)_2$  surface film due to the adsorption of chloride ions and the formation of a supersaturated  $MgCl_2$  solution in the pre-electrode layer. Next, there is a shift in potential towards negative values, corresponding to the destruction of the passive film and activation of the surface with intense hydrogen formation. In the third area, intense anodic dissolution occurs at a compromise potential. It has been established that for the MS alloy, the potential jumps in the first stage are smaller, and the dependence  $\Delta E - \lg j$  is linear, which indicates a change in the limiting stage of the process under the influence of lead. The calculated Tafel coefficient  $b > 0.4$  for all samples of magnesium and its alloys indicates complex kinetic control, including chemical and diffusion stages. The results of constructing corrosion diagrams confirmed that magnesium alloying with lead is an effective method for reducing the rate of self-dissolution in chloride environments.*

**Key words:** magnesium, anode material, anodic dissolution, self-dissolution, polarization studies.

Дата надходження статті: 20.11.2025

Дата прийняття статті: 10.12.2025

Опубліковано: 30.12.2025