

ӘОЖ 665. 5

МРНТИ 61.31.51

DOI 10.56525/XKNP4369

МАГНИЙ ЖӘНЕ ОНЫҢ ҚҰЙМАЛАРЫНЫҢ КОРРОЗИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Туркменбаева М. Б., Қуандық М.

Есенов университеті, Ақтау қ., Қазақстан

e-mail: maira.turkmenbayeva@yu.edu.kz, e-mail: meruert.quandyq@bk.ru

Аңдатпа. Мақалада, физиологиялық ортада магнийдің коррозияға төзімділігімен байланысты бірқатар мәселелер зерттеліп, отандық және шетелдік ғалымдардың жұмысына негізделі талдаулар жасалды. Биоүйлесімді магний негізіндегі құймаларды алу үшін легирлеуші элементтерді қосу арқылы құймалардың коррозиялық қасиеттерін бағалау әдістерінің зерттеу нәтижелері зерделенді. Магний құймаларының беріктігі мен қаттылығы сирек жер металлдарын қосу арқылы жақсартуға болатыны анықталды, сонымен қатар коррозияға төзімділігін арттыруға да болады. Балқыма алудың негізгі мақсаты механикалық қасиеттерді, коррозиялық тұрақтылықты жақсарту және өнімнің өзіндік құнын ақтау болып табылады.

Mg құймаларына легирлеуші элементтерді қосу арқылы беріктік, серпімділік секілді механикалық қасиеттерді және биокоррозияға тұрақтылықты жақсартуға болады. Легирлеуші элементтер механикалық қасиеттерін ғана емес, олардың биоүйлесімділік дәрежесін есепке ала отыра таңдалды. Легирлеуші металға байланысты дән мөлшерінің шамалы таралуы, біртекті құрылымға ие болу сияқты құйманың әртүрлі құрылымдық сипаттамаларын алуға болады, алайда балқыма қасиеттері металлалық қосылыстардан және микроструктурадан да тәуелді.

Магний құймаларының коррозиялық әрекеті электрохимиялық сынақтар арқылы бағаланды, олар эталондық электрод ретінде қаныққан каломель электроды (SCE) және қарсы электрод ретінде платина электроды және жұмыс электроды ретінде магний қорытпасының үлгілері бар үш электродты ұяшықты жүйені қолдану арқылы жүргізілді.

Потенциодинамикалық поляризация қисықтары электрохимиялық жұмыс станциясын (VSP-300, BioLogic, Франция) пайдалана отырып, $1,5 \text{ мВ с}^{-1}$ сканерлеу жылдамдығында ашық тізбек потенциалына (OCP) қарсы $\pm 500 \text{ мВ}$ сканерлеу арқылы алынды. Құрамында Sc бар Mg қорытпаларының қайта пассив қабілеттілігін ескере отырып, үлгілер 1200 грит SiC қағазын пайдаланып механикалық ұнтақталды және ашық контурды тұрақтандыру үшін HBSS 1 сағат бойына сіңірілді. Коррозия ток тығыздығы i_{corr} (мА см⁻²) және коррозия жылдамдығы (CR) BioLogic ұсынған EC-Lab бағдарламалық құралын пайдаланып Tafel әдісімен есептелді. Әрбір магний құймасының үш үлгісі электрохимиялық сынақтар арқылы коррозияны бағалау үшін пайдаланылды. Таза магний және магний негізіндегі құйманың құрылымдық және морфологиялық сипаттамалары рентген-дифракционды анализ және сканерлеуші электронды микроскоп әдістерімен зерттелді.

Түйін сөздер: физиологиялық орта, магний құймалары, легирлеуші элементтер, мырыш, құймалардың коррозиялық қасиеттерін зерттеу.

Kіріспе

Магний негізіндегі материалдар медициналық қолдану үшін перспективалы материал ретінде қарастырылады, себебі олар сүйек жазылғаннан кейін импланттарды алу үшін жасалатын хирургиялық процедуралардың қажеттілігін азайтып, медициналық шығындарды жояды. Осыған байланысты, соңғы жылдары дәстүрлі ыдырамайтын металды импланттарының орнына биологиялық ыдырайтын металды материалдар танымал бола бастады, олардың арасында магний мен оның құймалары қарқынды түрде зерттелуде.

Зерттеу жұмысының мақсаты - сутегінің бөлінуін азайту есебінен материалдың биодеградация жылдамдығын бақылау мүмкіндігі бар легирлеуші элементтерді қосу арқылы коррозияға төзімділігі жоғары құйманы алып, оның коррозиялық қасиеттерін зерттеп, таза магниймен салыстыру болып табылады.

Магний (Mg) құймаларына легирлеуші элементтерді қосу арқылы беріктік, серпімділік секілді механикалық қасиеттерді және биокоррозияға тұрақтылықты жақсартуға болады. Зерттеу жұмысында легирлеуші элемент ретінде мырыш (Zn) таңдалды. Mg құймаларына Zn серпімділік қасиет беріп, оның мәнін кортикальды сүйекке жақындатады. Zn массалық үлесін 0-3% дейін жоғарлату дәннің көлемін 12 мкм-ден 4 мкм-ге дейін кішірейтуге және механикалық қасиеттерін жақсартуға мүмкіндік береді.

Соңғы жылдары зерттеулерде медицинада қолдануға арналған магний негізіндегі құймаларға ерекше көңіл бөлінді, өйткені олар жеңіл материалдар, тығыздығы адам сүйегінің тығыздығына 1,75-2,1 г/см³ және механикалық қасиеттеріне жақын, және биологиялық ыдырайтын қасиетке ие. Соңғы аспект хирургиялық қолдану үшін өте маңызды [1-5].

Магний негізіндегі құймалардың ең басты артықшылықтары биоүйлесімділігі, биологиялық ыдырауы және механикалық қасиеттері [6]. Магнийдің және оның құймаларының биоүйлесімділігін дәлеледейтін алғашқы *in vivo* зерттеуі масса өсуі магний мен адам ағзасының құрамдас бөліктерімен реакцияға түсуі нәтижесінде пайда болатындығына негізделген. Mg-дің тағы бір артықшылығы оның жоғары демпферлік қабілеті, жүктеуге қолдануға болатын кез-келген металдың энергиясын сіңіру қабілеті болып табылады [7,8]. Mg өңдеуге болатын ең жеңіл металл құрылымы және тұрақты кіші өлшемдерге оңай қол жеткізуге болады. Магнийдің сынуға төзімділігі керамикалық биоматериалдарға қарағанда жоғары, күрделі пішіндерді алу оңай, ол медициналық қолданбаларға қажет күрделі пішіндер үшін маңызды [9].

Бұл ғылыми-зерттеу жұмысында магний құймаларының коррозиялық әрекеттері зерттелді.

Материалдар мен зерттеу әдістері

Магний негізіндегі құйманы алу үшін трубалы пеш қолданылды. Магний ауада жанғанда тотығып кететін активті металл болғандықтан, балқыту инертті аргон атмосферасында жүргізілді. Құйманы алу кезінде тотығудың алдын алу үшін флюс пайдаланылды. Флюс құрамына кіретін тұздар BOYN вакуумдық пешінде 100°C температурада 30 мин бойы кептіріліп алынды. Магний және магний негізіндегі құйманың физиологиялық ерітіндідегі электрохимиялық қасиеті потенциостат-гальваностат AUTOLAB PGSTAT көмегімен үш электродты электрохимиялық ұяшықта сызықтық вольтамперметрия әдісімен зерттелді.

Коррозиялық қасиеттерді бағалау әдістері жүргізілген соң зерттеу нәтижелерін талқылау мақсатында магний және магний құймасының СЭМ құрылғысында беттік үлкейтуі 1000, 5000 болатын морфологиялары және рентген-дифракционды анализдері мен таралу карталары үлгілердің морфологиясы мен бетінің құрамы туралы қорытынды жасауға мүмкіндік берді. Құйма биоматериал ретінде таңдалып алынғандықтан, Mg негізіндегі құймалар бойынша барлық тәжірибелер адам ағзасындағы жағдайларды имитациялайтын физиологиялық ерітінділерде жүргізіледі. Мұндай зерттеулер үшін әдетте ХТТЕ, ЭТТЕ немесе СДС ерітінділері пайдаланылады. Бұл ерітінділер әдетте қан плазмасына ұқсас концентрацияда кальций, фосфат, магний және хлорид сияқты иондарды қамтиды. Бұл жұмыс үшін коррозия ортасы ретінде стандартты физиологиялық Хэнк тендестірілген тұз ерітіндісі (ХТТЕ) таңдап алынды.

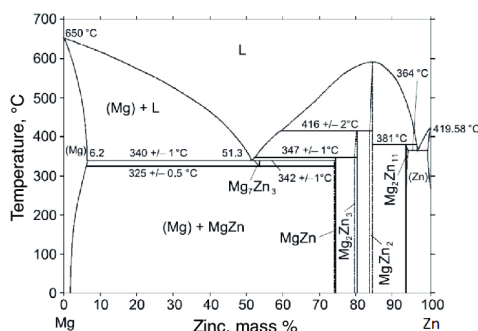
Ерітіндіні әзірлеу үшін тазартылған суда натрий хлориді, калий хлориді, екі негізді натрий фосфаты, бір негізді калий фосфат және глюкозаның көрсетілген мөлшері (1-кесте) ерітіліп, толық ерігенше жақсылап араластырылды.

1- кесте - ХТТЕ ерітіндісінің құрамы

Компоненттер	Концентрация
NaCl	8 г/л
KCl	0,4 г/л
Na ₂ HPO ₄	0,06 г/л
KH ₂ PO ₄	0,06 г/л
CaCl ₂	1 мМ
глюкоза	1 г/л

Тұз қышқылы (HCl) немесе натрий гидроксиді (NaOH) арқылы ерітіндінің рН мәні 7,2-7,4 шамасында реттелді. Тәжірибе сүйек тіндерімен байланысты болғандықтан, физиологиялық жағдайларға ұқсайтын концентрацияға жету үшін кальций хлориді қосылды. Әдеттегі концентрация кальций үшін шамамен 1-2 мМ.

Mg негізіндегі құйманы синтездеу- балқыма гравитационды құю әдісімен таза магний металлы (99,9%) және мырыш гранулаларын (99,9%) қолдану арқылы алынды. Алдымен элементтер таңдалған құрамға (Mg-5Zn(мас.%)) сай өлшеніп алынды. Балқыту 65⁰-85⁰С температура аралықтарында жүзеге асырылады, бұл жұмыс үшін Mg-Zn жүйесінің фазалық диаграммасына [5] (1-сурет) және басқа да ғылыми әдебиеттерге сүйене отыра оптималды балку температурасы ретінде 75⁰С таңдалды.



1-сурет. Mg-Zn жүйесінің фазалық диаграммасы

Балку кезінде магний металының тотығуын алдын алу синтез шарттарының ең маңыздысы болғандықтан, тотығу процессінің алдын алу үшін аргоннан бөлек RJ-2 флюсы қолданылды. Флюс MgCl₂ (38–48 мас.%), KCl (32–40 мас.%), BaCl₂ (5–8 мас.%), және CaF₂ (3–5 мас.%) тұздарынан тұрады. Флюсты әзірлеу үшін алдымен барлық компоненттері өлшеніп алынды және фарфор табақшада араластырылып вакуумдық пеште кептірілді. Дайын болған флюсты металлдардың бетін жауып, пеште балқытылды. Металдар болаттан жасалған тигельде, 750⁰С температурада және Ar газының қатысында 45 мин бойы трубалы пеште балқытылды. Алынған құйманың құрамы СЭМ және рентген-дифракциялық әдістері арқылы сипатталды.

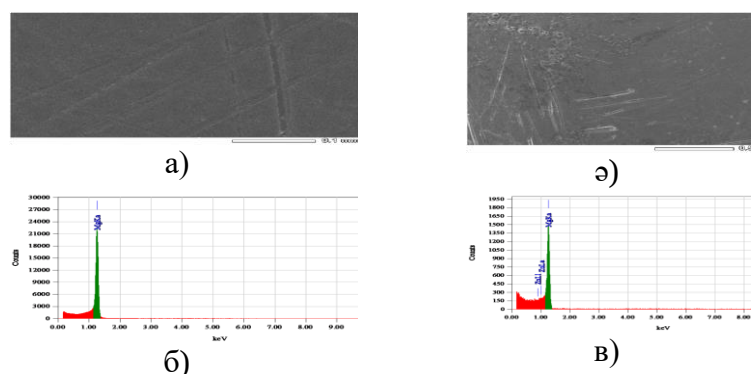
Магнийдің және магний құймасының коррозиясын гравиметрия әдісімен бағалау - Хэнк ерітіндісінде, 37⁰С температурада, нейтралды ортада жүргізілді. Алдымен таза магнийден өлшемі 1,04×1,00×0,54см, бастапқы массасы m=0,9170г және құймадан өлшемі 0,37×0,74×0,34см, бастапқы массасы m=0,1398г болатын үлгі дайындалды. Үлгілер ерітіндіге батырылмас бұрын бұдырлығы 800 болатын тегістеу қағазында кейін бұдырлығы 2500 тегістеу қағазында тегістеліп, фильтр қағазымен тазаланды. Содан соң этил спиртімен майсыздандырылып, 100мл ХТТЕерітіндісіне батырылды. Алғашқы 1, 5, 10, 20, 30, 60 мин сайын массасы өлшеніп отырды. Ары карай үлгілер ерітіндіде 7 күнге қалдырылды және әрбір 24 сағ сайын ерітінді жаңартылып отырды. 7 күннен соң үлгі ерітіндіден шығарылып, коррозия өнімдері 25%-дық хром қышқылында тазаланды және үлгінің массасы өлшенді.

Волюмометрия әдісімен коррозияны бағалауға магнийдің және құйманың эпоксидтегі үлгілері (ауданы 121 мм² және 162,78 мм²) алынды, үлгілердің беті бұдырлығы 800 және 2500 тегістеу қағаздарында тазаланып, өлшемдері өлшенді. Кейін спиртпен майсыздандырылып, ерітіндіге салынды. Коррозия нәтижесінде бөлінген сутек көлемі бюретка көмегімен өлшеніп отырды. Алдымен алғашқы 1, 5, 10, 20, 30, 60 мин сайын көлем мәні өлшеніп отырды кейін әрбір жарты сағат сайын өлшенді. Жалпы әдіс ХТТЕ ерітіндісінде, 37°C температурада, нейтралды ортада 8 сағ жүргізілді.

Магнийдің және магний құймасының коррозиясын электрхимия әдісімен бағалау - AUTOLAB қондырғысында ХТТЕ ерітіндісінде, 37°C температурада, нейтралды ортада жүргізілді. Әдіс үшін үш электродты ұяшық қолданылды және магний мен құйманың поляризациялық қисықтары алынды. Жұмысшы электрод ретінде магний және құймадан жасалған электродтар (аудандары 01734см² және 01661см²), қарсы электрод ретінде Pt, салыстырмалы электрод ретінде Ag/AgCl электроды алынды. Nova бағдарламасында таза магний және магний құймасының поляризация қисықтары және электрхимиялық параметрлері алынды.

Зерттеу нәтижелері

Биоүйлесімді импланттарда қолдану мүмкіндігі бар құйма ретінде Mg-5Zn (мас.%) құрамды құймасы таңдап алынды. Таза магний және магний негізіндегі құйманың құрылымдық және морфологиялық сипаттамалары рентген-дифракционды анализ және сканерлеуші электронды микроскоп әдістерімен зерттелді (2-сурет).



2-сурет. Mg-дің а)СЭМ және б) Рентген-дифракционды анализ нәтижелері;

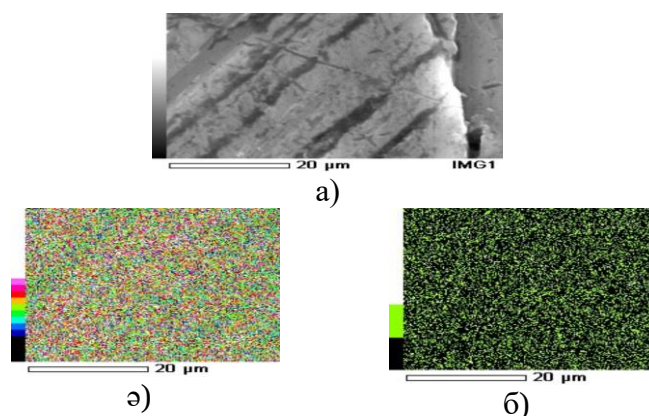
Mg-5Zn құймасының ә) СЭМ және в) Рентген-дифракционды анализ нәтижелері

2-суреттегі СЭМ кескіндерінен магний мен оның құймасының морфологиясында айырмашылық көрінбейді, алайда рентген-дифракционды анализ нәтижелері көрсеткендей құйма құрамында 5% мырыш бар. Яғни құйма синтезінің барысында магний тотығуы және магнийдің қосымша қосылыстары мен фазалары түзілмегендігін көрсетеді. 2-кестеде рентген дифракционды анализ нәтижесінде алынған Mg-5Zn (мас.%) құймасының химиялық құрамын көруге болады.

2 -кесте Магний және Mg-5Zn (мас. %) құймасының химиялық құрамы

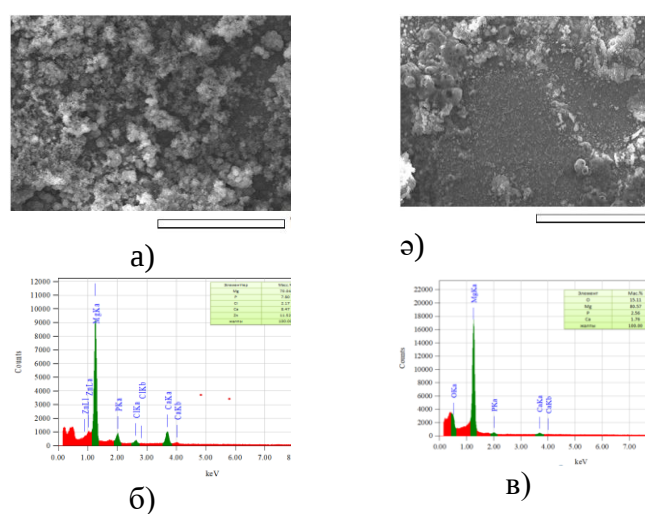
Элемент	Мас.%	Ат.%	Элемент	Мас.%	Ат.%
Mg	100.00	100.00	Mg	87.59	94.99
			Zn	12.41	5.01
жалпы	100.00	100.00	жалпы	100.00	100.00

Сонымен қатар құйманың құрамын толықтай зерттеу мақсатында оның таралу картасы алынды (3-сурет). 3-суретте магний және мырыш элементтерінің құйма бетінде біркелкі таралғанын көруге болады. Бұл металдардың балку барысында 45 минут уақыттың магний мен мырыш элементтері жақсы араласуына жеткілікті екенін білдіреді.



3-сурет. Mg-5Zn(мас.%) құймасының таралу картасы:
 а) құйманың анализге түсірілген беті; б) Mg элементінің құйма бетінде таралуы;
 с) Zn элементінің құйма бетінде таралуы

Құйма мен магнийдің физиологиялық ерітіндідегі 8 сағат коррозиядан кейінгі өзгерістерін байқау үшін СЭМ кескіндері алынды (4-сурет). СЭМ суреттерінен көрініп тұрғандай, таза магний бетінде құймамен салыстырғанда, коррозия өнімдері айтарлықтай көбірек әрі тығызырақ түзілген. Сонымен қатар, олардың рентген-дифракционды анализ нәтижелеріне назар аударсақ, таза магний бетіндегі коррозия өнімдерінің құрамында 21,54% оттегі элементі бар екендігі байқалды. Бұл магний оксиді және гидроксиді секілді коррозия өнімдерінің құрамына кіретін оттегі мөлшері деп болжауымызға болады.

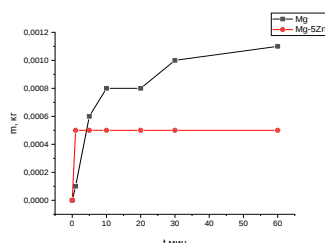


4-сурет. а) таза магний; ә) құйманың коррозиядан кейінгі СЭМ кескіндері;
 б) магнийдің; в) құйманың коррозиядан кейінгі рентген-дифракционды анализ нәтижелері

Сондай-ақ, гравиметрия әдісін жүргізу барысында магнийден жасалған үлгі салынған қалташада ақ түсті коррозия өнімдерінің уақыт өте көбірек түзілетіні байқалды, ал құмадан жасалған үлгіде коррозиялық желіну аздап байқалғанымен, ақ түсті коррозия өнімдері мүлде түзілмеді деуге болады. Осыдан құйманың коррозия процессіне азырақ ұшырағанын байқауға болады.

Құйма мен магнийдің коррозиялық қасиеттері гравиметрия, волюмометрия және электрхимия әдістерін қолдану арқылы бағаланды.

Гравиметрия нәтижесінде алғашқы 1, 5, 10, 20, 30, 60 мин сайын алынған масса мәндері мен бастапқы масса арасындағы айырмашылық анықталып, оның уақытқа тәуелділік графигі алынды (5-сурет). Графиктен масса жоғалу құймада магниймен салыстырғанда өте төмен екені байқалады.



5-сурет. Коррозия кезіндегі металл Mg мен Mg-5Zn(мас.%) құймасының массаларының азаюы

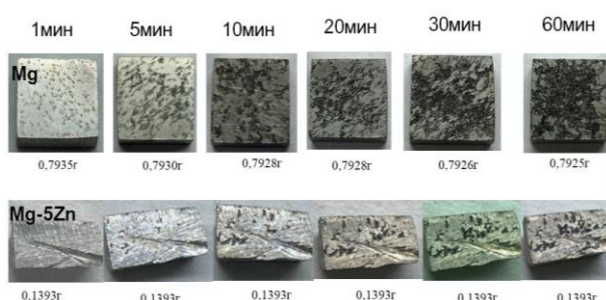
Сонымен қатар гравиметрия нәтижесінде алынған масса мен бастапқы масса мәндерін пайдалану арқылы магний және құйма үшін коррозиялық жылдамдық мына формула бойынша есептелді:

$$K = \Delta m / St$$

мұндағы: Δm - бастапқы және соңғы массалардың айырмасы; S – аудан; t – уақыт.

Берілген формула бойынша магний мен құйма үшін коррозия жылдамдықтарын есептегенде, сәйкесінше 0,07 мм/жыл және 0,00198 мм/жыл мәндері алынды.

Сонымен қатар 6-суретте магний мен құйманың уақытқа байланысты коррозияға ұшырауы визуалды түрде көрсетілген. Құйманың магнийге қарағанда аз жемірілгенін байқауға болады.

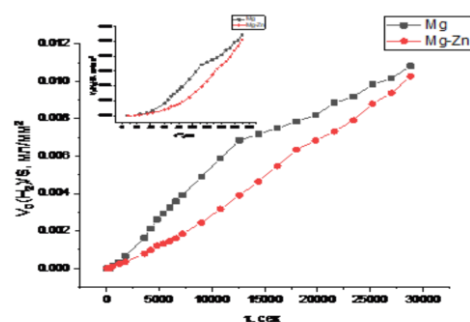


6-сурет. Әр түрлі уақыт аралығындағы үлгі бетінің коррозияға ұшырауы

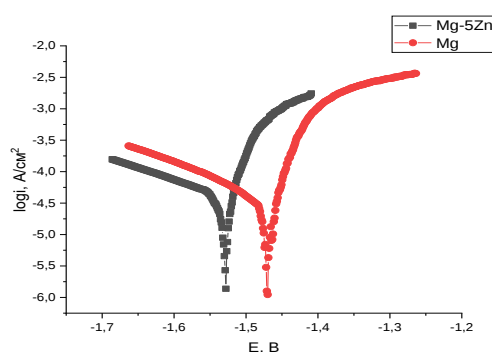
Волюмометрия нәтижесінде 8 сағат бойы бөлінген сутек газының көлемі әр жарты сағат сайын өлшеніп отырды. Нәтижесінде әртүрлі уақыт аралықтарында бөлінген сутек көлемінің үлгі бетінің ауданына қатынасы мен уақыт арасындағы тәуелділік графигі алынды (7-сурет). Графиктен сутек газының бөлінуі құймамен салыстырғанда магний бетінде көбірек жүргенін байқауға болады.

Электрхимиялық әдісте магний мен құйманың потенциалды-ток логарифмі тәуелділігі (8-сурет) және Nova бағдарламасында электрхимиялық параметрлері (5-кесте) алынды. Магний мен құйманың потенциодинамикалық қисықтарынан құйма төмен ток тығыздығына ($\log i$, А/см²) ие екенін көре аламыз, бұл құйма магнийге қарағанда коррозияға азырақ ұшырағанын көрсетеді. Электрхимиялық әдісте коррозиялық жылдамдық және басқа да электрхимиялық параметрлер Nova бағдарламасында потенциодинамикалық қисыққа жанама жүргізу арқылы алынды (9-сурет). 3-кесте бойынша құйма мен магнийдің коррозиялық потенциалдарында ($E_{\text{корр}}$) айырмашылық аз, бірақ коррозиялық тұрақтылық (R_p) 102,550 $\Omega \cdot \text{см}^2$ -ден 340,320 $\Omega \cdot \text{см}^2$ -қа дейін өсті, ал коррозиялық жылдамдық (K) 2,4105 мм/жыл-дан

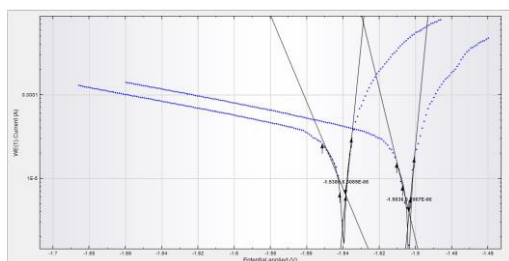
0,96209 мм/жыл-ға дейін азайды. Яғни құйма магниймен салыстырғанда жоғары коррозиялық тұрақтылық пен төмен коррозия жылдамдығына ие.



7-сурет. Бөлінген сутек көлемінің ауданға қатынасының уақыттан тәуелділік графигі



8-сурет. Магний мен құйманың потенциодинамикалық қисықтары



9-сурет. Магний мен құйманың потенциодинамикалық қисықтарына жанама жүргізу арқылы электрхимиялық параметрлерін анықтау

3-Кесте Магний мен құйманың электрхимиялық қасиеттерінің параметрлері

Құйма	$E_{\text{корр}}$ (мВ)	R_p ($\Omega \cdot \text{cm}^{-2}$)	$I_{\text{корр}}$ ($\mu\text{A} \cdot \text{cm}^{-2}$)	K (мм/жыл)
Mg	-1469	102,550	948,460	2,4105
Mg-5Zn	-1553	340,320	192,150	0,96209

Осылайша, мырыштың аз мөлшері мөлшері магнийдің коррозиялық қасиеттеріне жақсы әсер етендігі дәлелденді. Сондықтан алдағы уақытта биоүйлесімді магний негізіндегі

құймаларды алу үшін Mg-5Zn(мас.%) құймасына басқа да лигерлеуші элементтерді қосу қажет.

Қорытынды

Таза магний мен Mg-5Zn құймасының коррозиясы гравиметрия, волюмометрия және электрхимиялық әдістерімен бағаланды. Гравиметрия әдісі бойынша таза магнийге қарағанда Mg-5Zn құймасы коррозияға баяу ұшырады және коррозия жылдамдығы сәйкесінше 0,07 мм/жыл және 0,00198мм/жыл.

Волюмометрия әдіс нәтижелері бойынша бөлінген сутек көлемінің үлгі ауданына қатынасының уақытқа тәуелділік графигі алынды және график бойынша құймаға қарағанда магний коррозиясы кезінде бөлінген сутек көлемі артық болды.

Потенциодинамикалық қисықтардан магнийге мырышты қосқан кезде, коррозиялық қасиеттерінің жақсарғанын көруге болады. Сондай-ақ, осы қисықтарға жанама жүргізу арқылы алынған параметрлер бойынша, таза магний мен оның құймасының коррозиялық жылдамдықтарының мәнінде (2,4105 мм/жыл және 0,9621 мм/жыл сәйкесінше) айтарлықтай айырмашылығы анықталды.

ӘДЕБИЕТТЕР

1. Tsakiris V., Tardei Ch., Clicinschi F.M. Biodegradable Mg alloys for orthopedic implants – A review // Journal of Magnesium and Alloys. -2021. -Vol.9. –P.1884-1905.
2. Zainal Abidin N.I., Rolfe B., Owen H., Malisano J., Martin D., Hofstetter J., Uggowitzer P.J., Atrens A. The in vivo and in vitro corrosion of high-purity magnesium and magnesium alloys WZ21 and AZ91 // Corrosion Science. -2013. –Vol.75. –P.354–366.
3. Zhang J., Xu C., Jing Y., Lv S., Liu S., Fang D., Zhuang J., Zhang M., Wu R. New horizon for high performance Mg-based biomaterial with uniform degradation behavior: Formation of stacking faults // Scientific Reports. -2015. –Vol.5. –P.140-156.
4. Li H., Pang S., Liu Y., Sun L., Liaw P.K., Zhang T. Biodegradable Mg-Zn-Ca-Sr bulk metallic glasses with enhanced corrosion performance for biomedical applications // Materials & Design. -2014.–Vol.67. –P.9–19.
5. Prasad K., Bazaka O., Chua M., Rochford M., Fedrick L., Spoor J., Symes R., Tieppo M., Collins C., Cao A., Markwell D., Ostrikov K., Bazaka K. Metallic Biomaterials: Current Challenges and Opportunities //Materials. -2017. –Vol.10. –P.884-917.
6. Housh S., Mikucki B., Stevenson A. Properties of Magnesium Alloys Properties and Selection // Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials, ASM Handbook.-1992. -Vol.2. -P.1424–1432.
7. Kuwahara H., Al-Abdullat Y., Ohta M., Tsutsumi S., Ikeuchi K., Mazaki N., et al., Surface Reaction of Magnesium in Hank's Solutions // Material Science Forum. -2000. –Vol.350–351. –P.349–358.
8. Kirkland N.T., Kolbeinsson I., Woodfield T., Dias G.J., Staiger M.P. Synthesis and properties of topologically ordered porous magnesium // Materials Science Engineering B. -2011. –Vol.176. –P.1666-1672.
9. Zheng Y., Li Y., Chen J., Zou Z. Effects of tensile and compressive deformation on corrosion behaviour of a Mg–Zn alloy // Corrosion Science. -2015. Vol.90. –P.445–450.
10. Kapinos D., Augustyn B., Szymanbek M. Methods of introducing alloying elements into liquid magnesium // Metallurgy and Foundry Engineering.-2014. –Vol.40.-P.141-160.

ИЗУЧЕНИЕ КОРРОЗИОННЫХ СВОЙСТВ МАГНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ

Туркменбаева М. Б. , Қуандық М.

Университет Есенова, г. Актау, Казахстан

e-mail: maira.turkmenbayeva@yu.edu.kz, e-mail: meruert.quandyq@bk.ru

Аннотация. В статье изучен ряд вопросов, связанных с коррозионной стойкостью магния в физиологической среде, проведен анализ, основанный на работе отечественных и зарубежных ученых. Изучены результаты исследований методов оценки коррозионных свойств сплавов с добавлением легирующих элементов для получения биосовместимых сплавов на основе магния.

Установлено, что прочность и твердость магниевых слитков можно улучшить, добавив редкоземельные металлы, а также повысить коррозионную стойкость. Основной целью получения расплава является улучшение механических свойств, коррозионной стойкости и оправдание себестоимости продукции. Добавляя легирующие элементы в слитки Mg, можно улучшить механические свойства, такие как прочность, эластичность и устойчивость к биокоррозии. Легирующие элементы выбирались с учетом не только механических свойств, но и степени их биосовместимости. В зависимости от легирующего металла можно получить различные структурные характеристики слитка, включая небольшое распределение размера зерна, а также однородную структуру. Однако свойства расплава также зависят от межметаллических соединений и микроструктуры. Коррозионное поведение магниевых слитков оценивалось с помощью электрохимических тестов, которые проводились с использованием насыщенного каломельного электрода (SCE) в качестве эталонного электрода и платинового электрода в качестве контрагента и трехэлектродной ячейки системы с образцами магниевых сплавов в качестве рабочего электрода. Кривые потенциодинамической поляризации были получены путем сканирования ± 500 мВ против потенциала разомкнутой цепи (OCP) при скорости сканирования $1,5 \text{ мВ с}^{-1}$ с использованием электрохимической рабочей станции (VSP-300, BioLogic, France). Учитывая способность сплавов Mg, содержащих Sc, повторно пассивироваться, образцы были механически измельчены с использованием бумаги SiC зернистостью 1200 и пропитаны HBSS в течение 1 часа для стабилизации открытого контура. Плотность тока коррозии i_{corr} (мА см^{-2}) и скорость коррозии (CR) были рассчитаны методом Tafel с использованием программного обеспечения EC-Lab от BioLogic. Три образца каждого магниевых слитка использовались для оценки коррозии с помощью электрохимических испытаний. Структурные и морфологические характеристики слитков на основе чистого магния и магния были изучены методами рентген-дифракционного анализа и сканирующего электронного микроскопа.

Ключевые слова: физиологическая среда, магниевые сплавы, легирующие элементы, цинк, исследование коррозионных свойств сплавов.

CORROSION OF MAGNESIUM AND ITS CASTINGS STUDY OF PROPERTIES

Turkmenbayeva M., Kuandyk M.

University Yessenova, G. Aktau, Kazakhstan

e-mail: maira.turkmenbayeva@yu.edu.kz, e-mail: meruert.kuandyk@bk.ru

Abstract. In the article, a number of issues related to the corrosion resistance of magnesium in the physiological environment were studied and analyzes were made based on the work of domestic and foreign scientists. The results of the study of methods for assessing the corrosive properties of castings with the addition of ligating elements to obtain biocompatible magnesium-based castings were studied. It has been found that the strength and hardness of magnesium ingots can be improved by adding rare earth metals, and the corrosion resistance can also be increased. The main purpose of smelting is to improve mechanical properties, corrosion resistance and justify the cost of production. By adding alloying elements to Mg castings, mechanical properties such as strength, elasticity and resistance to biocorrosion can be improved. Alloying elements were selected taking into account not only their mechanical properties, but also the degree of their biocompatibility. Depending on the alloying metal, different structural characteristics of the Ingot can be obtained, including a small grain size distribution, as well as having a homogeneous

structure. However, melt properties are also dependent on intermetallic compounds and microstructures. The corrosive behavior of magnesium ingots was assessed through electrochemical tests, which were carried out using a three-electrode cell system with a saturated calomel electrode (SCE) as the reference electrode and a platinum electrode as the counter electrode and magnesium alloy samples as the working electrode. Potentiodynamic polarization curves were obtained by scanning ± 500 MV against the open circuit potential (OCP) at a scan rate of 1.5 MV C^{-1} using an Electrochemical Workstation (VSP-300, biological, France). Given the re-passivity of MG alloys containing Sc, the samples were mechanically ground using 1200 grit SiC paper and HbSS absorbed for 1 hour to stabilize the open circuit. Corrosion current density i_{corr} (ma cm^{-2}) and corrosion rate (CR) were calculated by the Tafel method using EC-Lab software provided by biological. Three samples of each magnesium ingot were used to assess corrosion through electrochemical tests. The structural and morphological characteristics of pure magnesium and magnesium-based ingots were studied by X-ray diffraction analysis and scanning electron microscope methods.

Keywords: physiological environment, magnesium ingots, alloying elements, Zinc, Study of the corrosive properties of ingots.