

ELECTROCHEMICAL BEHAVIOR OF CADMIUM BY ALTERNATING CURRENT POLARIZATION IN HYDROCHLORIC ACID SOLUTION

A. Bayeshov^{1*}, A.I. Sydykova², Kh.N. Zhanbekov²

¹ «National Center on Complex Processing of Mineral Raw Materials of the Republic of Kazakhstan», Almaty, Kazakhstan

² Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

*E-mail: bayeshov@mail.ru

Abstract. *Introduction.* This paper presents the results of a study of the electrochemical behavior of a cadmium electrode in aqueous solutions of hydrochloric acid under polarization by stationary and non-stationary currents and shows the possibility of synthesis of its chloride. *The purpose* is to develop the electrochemical behavior of cadmium under alternating current polarization in a solution of perchloric acid. *Methods.* During the study, it was found that when two cadmium electrodes are polarized with an alternating current of 50 Hz, their dissolution does not occur, however, when one electrode is replaced with a titanium one, cadmium is intensively dissolved. *Results and discussion.* The influence of the main parameters, such as the duration of electrolysis, current density, concentration and nature of the electrolyte on the electrochemical process has been studied. A schematic diagram of an installation for dissolving cadmium by polarization with a non-stationary current is proposed. It is shown that on the titanium electrode in the range of 20-80 kA/m², the current yield of the dissolution of the cadmium electrode gradually increases, and with a current density equal to 80 kA/m², the current yield reaches 135%. *Conclusion.* It is shown that with alternating current polarization, the rate of chemical dissolution of cadmium, increases with the release of hydrogen. During the experiment, with the polarization of the cadmium electrode by alternating current, the possibility of obtaining cadmium chloride was shown. Based on chemical and X-ray phase analyses, it was proved that cadmium forms compounds CdCl₂·H₂O.

Key words: cadmium, chloride, electrolysis, polarization, alternating current, pulse current, current efficiency, hydrochloric acid

Bayeshov Abduali

Doctor of Chemical Science, Professor, Academician of the National Academy of Sciences of the Republic Kazakhstan, e-mail: bayeshov@mail.ru

Sydykova Aisaule

Master, PhD, e-mail: aisaule94.kz@mail.ru

Zhanbekov Khairulla Nyshanovich

Doctor of the Earth Sciences, Professor, e-mail: hairulla418@mail.ru

Citation: Bayeshov A., Sydykova A.I., Zhanbekov Kh.N. Electrochemical behavior of cadmium by alternating current polarization in hydrochloric acid solution. *Chem. J. Kaz.*, 2024, 1(85), 130-141. (In Kaz.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2024-1.2710-1185.13>

АЙНЫМАЛЫ ТОКПЕН ПОЛЯРИЗАЦИЯЛАНҒАН КАДМИЙ ЭЛЕКТРОДЫНЫҢ ТҮЗ ҚЫШҚЫЛЫ ЕРІТІНДІСІНДЕГІ ЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ

А. Баешов^{1*}, А.И. Сыдыкова², Х.Н. Жанбеков²

¹Қазақстан Республикасының минералдық шикізатты кешенді қайта өңдеу жөніндегі ұлттық орталығы, Алматы, Қазақстан

²Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан

*E-mail: bayeshov@mail.ru

Түйіндемe. *Кіріспе.* Бұл жұмыста стационарлы және стационарлы емес токпен поляризацияланған кадмий электродының электрохимиялық қасиетін тұз қышқылының сулы ерітінділерінде зерттеу нәтижелері келтіріліп, оның хлоридін алу мүмкіндігі көрсетілген. *Жұмыс мақсаты* – айнымалы токпен поляризацияланған кадмий электродының тұз қышқылы ерітіндісіндегі электрохимиялық қасиеттерін зерттеу. *Әдістер.* Зерттеу барысында екі кадмий электродын тұз қышқылы ерітіндісінде жиілігі 50 Гц айнымалы токпен поляризациялағанда, олардың мардымды ерімейтіндігі, ал электродтардың біреуін беттік ауданы кіші титан электродымен ауыстырғанда, кадмийдің қарқынды түрде ерітіндігі айқындалды. *Нәтижелер және талқылау.* Электрохимиялық процеске электролиттің табиғаты мен концентрациясы, электродтардағы ток тығыздығы мен электролиздің ұзақтығы сияқты негізгі параметрлердің әсерлері зерттелді. Кадмийді стационарлы емес токпен поляризациялау арқылы ерітуге арналған қондырғының қарапайым принципіалды схемасы ұсынылды. Титан электродындағы ток тығыздығын 20-80 кА/м² аралығында өзгерткенде, кадмий электродының еруінің ток бойынша шығымы біртіндеп өсетіні, ал ток тығыздығы 80 кА/м² болғанда, ток бойынша шығым 135%-ке тең болатындығы көрсетілді. Бұл құбылыстың орын алуының механизмдері айқындалды. *Тұжырым.* Айнымалы токпен поляризациялану кезінде кадмийдің потенциалы теріс металл ретінде сутек газын бөле отырып, химиялық жолмен еруінің жылдамдығының күрт өсетіндігі көрсетілді. Салыстыру мақсатында кадмийдің еруіне тұрақты және импульсті анодты ток түрлерінің әсерлері де зерттелді. Зерттеу нәтижесінде кадмий электродын айнымалы токпен поляризациялау арқылы кадмий хлоридін алу мүмкіндігі көрсетілді. Бұл кезде кадмийдің CdCl₂·H₂O қосылысының түзілетіндігі химиялық және рентгенофазалық анализ негізінде дәлелденді.

Кілт сөздер: кадмий, хлорид, электролиз, поляризация, айнымалы ток, импульстік ток, ток бойынша шығым, тұз қышқылы.

<i>Баешов Абдуали</i>	<i>Химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі</i>
<i>Сыдыкова Айсәуле Исламқызы</i>	<i>магистр, PhD</i>
<i>Жанбеков Хайрулла Нышанович</i>	<i>Жер ғылымдары докторы, профессор</i>

1. Кіріспе

Кадмий металының көп бөлігі темір мен болатты коррозиядан сақтайтын қорғаныс жабындарын жасау үшін қолданылады. Мырыш пен кадмийдің қасиеттерінің ұқсастығына қарамастан, кадмийдің тегіс жабындарының өз ерекшелігі бар. Кадмий жабындары мырыш жабындарына қарағанда, коррозияға төзімді келеді. Сонымен қатар, кадмий қаптамалары сілтілі ортаға төзімді, ал қышқылды ортаға аса төзімді емес [1-3]. Кадмийдің шамамен 10%-ы әр түрлі металл құймаларды өндіруге жұмсалады. Бұл құймалар антифрикциялық материалдар жасауда, сонымен қатар, электротехникалық материалдарын және зергерлік бұйымдарды

жасауда, ал кадмий галогенидтері фото суреттерді шығаруда қолданыс тауып келеді [4-6].

Қазіргі таңда металлдың қосылыстарын синтездеудің жана перспективалық бағыттары дамуда, олардың бірі стационарлы емес ток қатысындағы электрохимиялық әдістерді қолдану арқылы металдардың бейорганикалық қосылыстарын алу. Бұл әдістің басты артықшылығы – өте таза қосылыстар алу мүмкіндігі, ал электролиз процесінің электрлік параметрлерін реттеу заттарды алудың қарапайым әдістерін қалыптастыруға мүмкіндік береді, бұл оның практикалық құндылығын одан әрі арттырады. Электрохимиялық процеске әсер ететін негізгі факторлар – электролиттің табиғаты мен концентрациясы, ток тығыздығы.

Айнымалы токтың әртүрлі формалары бар [7]: әр түрлі жиіліктегі синусоидалы, шаршы, трапеция тәрізді, үшбұрышты, ара тәрізді, шыбық тәрізді, импульсті және т.б. күрделі түрлері. Синусоидалды жиілігі 50 Гц айнымалы ток барлық өндірісте және тұрмыста күнделікті қолданыстағы ток түрі. Өндірістік жиіліктегі синусоидалы айнымалы ток электрохимиялық процестерді жүргізуде, әсіресе металл қосылыстарын өндіру кезінде кеңінен қолданылып келеді [8,9]. Өндірістік жиіліктегі айнымалы ток қатысындағы электрохимиялық синтездің тағы бір артықшылығы – электрод кеңістіктерін мембранамен бөлмей, қарапайым жолмен әр түрлі қосылыстарды алуға да мүмкіндік ашылуы. Айнымалы токты пайдаланып, кадмий сульфидін алу әдісі жасалған [10]. Кадмийдің жабындарын немесе құймаларын алу процестерін зерттеген кезде, оның электрохимиялық қасиеттеріне, электрохимиялық тотықсыздану кезінде жүретін процестерге де көңіл бөлінген. Мысалы, бірқатар зерттеулерде [11] келтірілген мәліметтер бойынша кадмийді ағынды сулардан бөліп алу кезінде орын алатын процестер электрохимиялық әдістермен зерттелген, осыларға әртүрлі параметрлердің әсерлері айқындалған. Сульфатты ортадан кадмийді электрохимиялық әдіспен тотықсыздандырып, тұндыру туралы зерттеулер жүргізілген. Олар әртүрлі стационарлы және стационары емес диффузиялық әдістермен жүргізілген [12]. Келтірілген мәліметтер бойынша кадмийдің электрохимиялық қасиеттері жан-жақты қызығушылық тудыратыны айқын көрініп тұр. Кадмий қосылыстары, нақтырақ айтқанда, кадмий хлориді көптеген зерттеулерде қолданыс табады. Бұл қосылыстан кадмийдің кешенді қосылыстары алынады. Олар, өз кезегінде, түрлі биохимиялық зерттеулерде қолданылады. Сонымен қатар фотобелсенді заттарды алуда, олардың бірқатар қасиеттерін зерттеуде де кадмий қосылыстары қолданылады [13,14].

Ұсынылып отырған ғылыми жұмыстың мақсаты - өндірістік айнымалы токпен поляризацияланған кадмий электродының тұз қышқылы ерітіндісіндегі электрохимиялық қасиеттерін зерттеу және оның хлоридті қосылысын алу жолдарын қарастыру.

2. Зерттеу әдістері

Тәжірибелер көлемі 100 мл шыны электролизерде жүргізілді және электродтар ретінде кадмий және титан қолданылды. Зерттеулер нәтижесінде алынған кадмий электродымен оның қосылыстары құрылымы және элементтік құрамы JSM-6610 LV(JEOL, Жапония) сканерлейтін электронды микроскоп пен INCA Energy 450 қондырғыларын пайдалана отырып анықталды.

3. Зерттеу нәтижелері мен талқылануы

Өндірістік токпен поляризацияланған кезде орын алатын электрохимиялық процестердің механизмін толық түсіну үшін – тұрақты, импульсті токтарды қолдану арқылы да зерттеулер жүргізілді. Ең негізгі зерттеулер жиілігі 50 Гц айнымалы ток әсерімен жүргізілді. Айнымалы токтың артықшылықтары: электрод кеңістіктерін бөлмей, өнім алуға болатындығы және электродтардың жоғары ток тығыздықтарында пассивацияланбауы.

Тәжірибелерге қолданылған кадмий электродының элементтік құрамы 1-кестеде көрсетілген.

Кесте 1 – Кадмий электродының элементтік құрамы

Спектр	O	Si	S	Cd	Барлығы
Спектр 1	1.73	0.13	0.07	98.07	100.0
Спектр 2	1.77	0.16	0.05	98.02	100.0
Спектр 3	1.80	0.13	0.02	98.05	100.0
Орташа	1.76	0.14	0.03	98.07	100.0

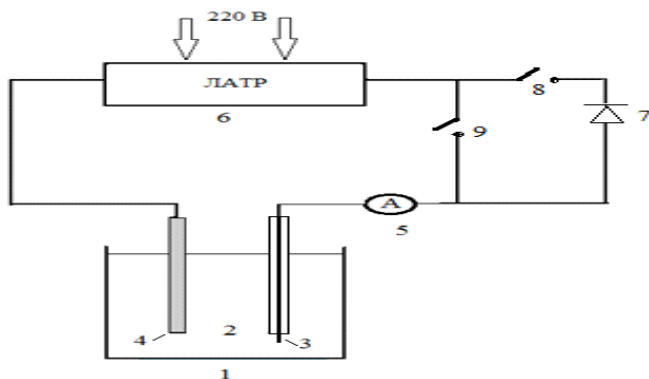
Электрохимиялық зерттеулер электрод кеңістіктері бөлінбеген сыйымдылығы 100 мл-лік шыны электролизерде жүргізілді. Электродтар ретінде - титан сымы (беттік ауданы өте аз 0.05 см^2) және кадмий (22 см^2) пластинасы қолданылды. Өндірістік синусоидалы айнымалы токпен поляризациялау арқылы кадмий электродының сулы ерітінділердегі электрохимиялық қасиетін зерттеуге арналған қондырғының принципиалды схемасы 1-суретте келтірілген.

Алдын-ала жүргізілген зерттеудегі екі кадмий электродтарын қышқылды ерітінділерде жиілігі 50 Гц өндірістік айнымалы токпен поляризацияланған кезінде электродтардың мардымды еруі байқалмайтындығын көрсетті. Ал электродтың біреуін беттік ауданы кіші титан сымына ауыстырсақ, кадмий электродының кадмий (II) иондарын түзе отырып, қарқынды еритіндігін байқауға болады. Электролиз электролиттің араластыруынсыз, бөлме температурасында жүргізілді. Металдың еруінің ток бойынша шығымы, кадмий электродынан өткен айнымалы токтың анодтық жартылай периодына есептелді.

Сонымен қатар, ұсынылып отырған жұмыста импульстік айнымалы токпен және анодты токпен поляризацияланған кадмий электродының электрохимиялық еруінің ерекшеліктері де анықталды. Айнымалы токпен және импульсті токпен поляризациялау арқылы электролиз жүргізуге арналған қондырғының принципіалды сызбанұсқасы 1-суретте көрсетілген. Егер схемада көрсетілген (8) кілтті ажыратып, (9) кілтті қоссақ, электролизер арқылы жиілігі 50 Гц айнымалы ток өтеді. Ал (9) кілтті ажыратып, (8) кілтті қосқанда, электр тогы электрохимиялық тізбекке тізбектеле жалғанған КД 213 диоды арқылы электролизерден жиілігі 50 Гц импульсті ток өтетін болады.

Электродтарды айнымалы токпен поляризациялау үшін ЛАТР, ал тұрақты токпен поляризациялау үшін GPS-1830D маркалы ток түзеткіші қолданылды.

Екі кадмий электродын тұз қышқылына салып, жиілігі 50 Гц өндірістік токпен поляризациялағанда, олардың мардымды еруі байқалмайды. Кадмий электродтарының еруінің ток бойынша шығымы (ТШ) 4% - дан аспайды. Ал кадмий электродының біреуін титан электродымен ауыстырғанда, металдың еруінің ток бойынша шығымы күрт өсетіндігін байқауға болады.



Сурет 1 – Айнымалы және импульсті токтармен поляризацияланған кадмий электродының электрохимиялық қасиетін зерттеуге арналған қондырғының принципіалды схемасы:

1-электролизер, 2-электролит, 3-титан электроды, 4-кадмий электроды, 5-амперметр, 6-ЛАТР, 7- диод, 8 және 9 – кілттер.

Айнымалы токпен поляризацияланған кадмий электродының еруінің ток бойынша шығымына титан электродындағы ток тығыздығының әсері зерттелді. Титан электродындағы ток тығыздығының шамасын $20\text{--}80\text{ кА/м}^2$ аралығында жоғарылатқанда, кадмий электродының еруінің ток бойынша шығымының мәні біртіндеп өсетіндігін көруге болады (2-сурет). 20 кА/м^2 ток тығыздығында кадмий электродының еруінің ток бойынша шығымы 100.9% , ал 80 кА/м^2 ток тығыздығында максималды мәні 135% -ды құрайды. Кадмий электродының еруін титан электродының ауданының кішілігімен түсіндіруге болады. Титан электродының ауданы кадмий

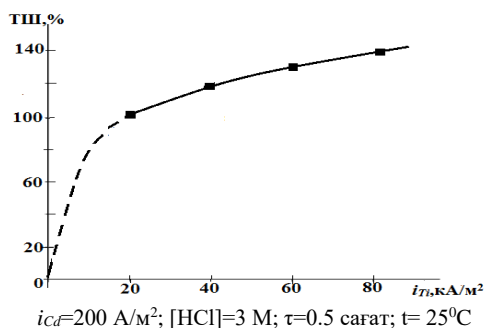
электродымен салыстырғанда жүз еседей аз, сәйкесінше сонша есе жоғары ток тығыздығы орнығады. Айнымалы токтың анодтық жартылай периодының алғаш сәтінде, титан электродының бетіндегі өте жұқа анодтық пленка (Ti_xO_2) пайда болады. Бұл қосылыс жартылай өткізгіштік қасиетке ие, нәтижесінде тізбектен токтың өтуі тоқтайды. Бұл сәтте кадмий электроды айнымалы токтың катодтық жартылай периодында болып, оның бетінде ешқандайда реакция орын алмайды. Ал титан электроды катодтық жартылай периодында болғанда, титан диоксиді бұл бағытқа қарай ток өткізіп, сутек иондары разрядталады. Бұл кезде кадмий электроды анодтық жартылай периодына болып, оның анодты еруі орын алады:



Айнымалы токпен поляризацияланған кадмий электродының еруінің ток бойынша шығымының 100 % -дан асуын, оның потенциалы теріс металл ретінде тұз қышқылы ерітіндісінің сутек иондарымен химиялық әрекеттесуімен түсіндіруге болады:



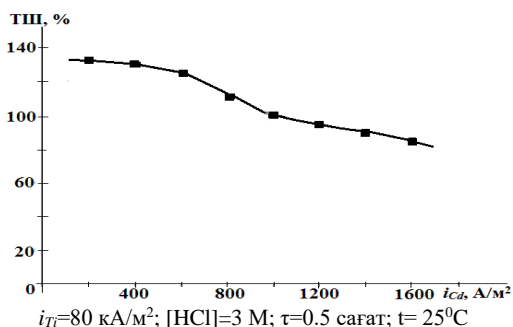
Кадмий табиғаты жағынан мырыш металына ұқсас болып келеді деп жорамалдауға болады. Ал, мырыш электродының айнымалы токпен поляризацияланған кезіндегі электрохимиялық қасиеттері бұрынғы жұмыстарда қарастырылған.



Сурет 2 – Айнымалы токпен поляризацияланған кадмий электродының еруінің ток бойынша шығымына титан электродындағы ток тығыздығының әсері.

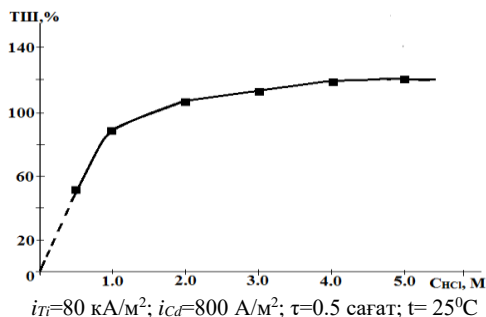
Кадмий-титан жұбын айнымалы токпен поляризациялаған кезде кадмий электродының еруінің ток бойынша шығымына осы электродтағы ток тығыздығының әсері зерттелінді (3-сурет). Кадмий электродындағы ток тығыздығының артуымен оның еруінің ток бойынша шығымы төмендейді. Бұл концентрациялық поляризацияның орын алуымен байланысты. Ток тығыздығы 200 А/м² болғанда – ток бойынша шығымның мәні 132%. Ал,

1600 А/м² ток тығыздығында – 90%-ға дейін төмендейді. Ток тығыздығы 200 А/м² кезіндегі кадмийдің жарты сағатта электрохимиялық еру салмағы – 0.087 г. Ал ток тығыздығы 1600 А/м² болғанда - 1.6 г. дейін жетеді. Дәл осы жағдайларда 3 М тұз қышқылы ерітіндісіндегі 0.5 сағатта химиялық еруінің массасы – 0.0024 г. құрайды. Салыстыра келе, электрохимиялық әдіспен кадмийдің еруі химиялық еруіне қарағанда 600 есе жоғары екендігі байқауға болады, яғни кадмийді ерітуде электрохимиялық реакциялық үлесінің өте жоғары екендігін көрсетеді. Айнымалы токпен поляризациялау кезінде ток бойынша шығымы 130%-дан асады, бұл кадмий электродының химиялық еру жылдамдығы айтарлықтай өсуіне байланысты деп жорамалдауға болады.



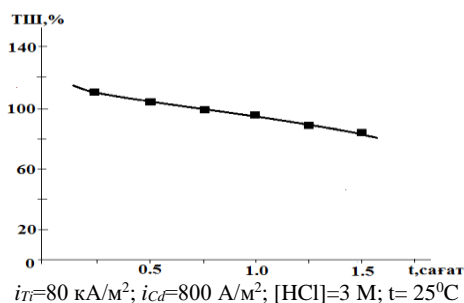
Сурет 3 – Айнымалы токпен поляризацияланған кадмий электродының еруінің ток бойынша шығымына осы электродтағы ток тығыздығының әсері.

Айнымалы токпен поляризацияланған кадмий электродының еруінің ток бойынша шығымына тұз қышқылы ерітіндісінің концентрациясының әсері зерттелді (4-сурет). Қышқылдың концентрациясының артуымен кадмийдің еруінің ТШ-ы біртіндеп жоғарылайды. 0,5 М тұз қышқылының ерітіндісінде кадмийдің еруінің ток бойынша шығымы 51% құрайды. Концентрацияны екі есе жоғарылатқанда, яғни 1 М тұз қышқылында ТШ 90%-ға дейін өсетіні байқалды. 1 М және 5 М ТШ аралығында, сәйкесінше 90 % және 119 % болып тұрғаны байқалды.



Сурет 4 – Айнымалы токпен поляризацияланған кадмий электродының еруінің ток бойынша шығымына тұз қышқылы концентрациясының әсері.

Сонымен қатар, айнымалы токпен поляризацияланған кадмий электродының еруінің ток бойынша шығымына электролиз ұзақтығының әсері 0.25-1.5 сағат аралығында зерттелінді. Зерттеу барысында, уақыттың өтуімен ТШ-ның да біртіндеп төмендеуін байқауға болады (5-сурет). Әрине, бұл құбылыс концентрациялық поляризацияның орын алуымен байланысты.



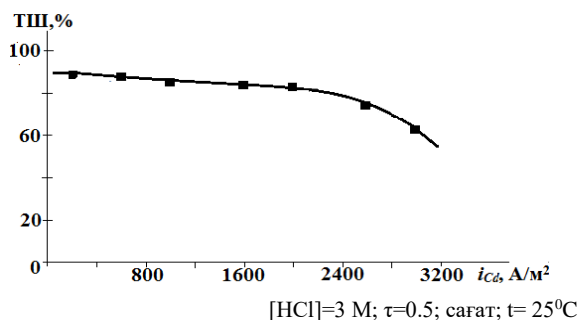
Сурет 5 – Айнымалы токпен поляризацияланған кадмий электродының еруінің ток бойынша шығымына электролиз ұзақтығының әсері.

Кадмийдің анодты токпен поляризациясы кезіндегі электрохимиялық қасиеттері зерттелінді (6-сурет). Анодтағы ток тығыздығының артуымен кадмийдің еруінің ток бойынша шығымы біртіндеп төмендейді. 200 А/м^2 ток тығыздығында кадмийдің еруінің ТШ-ы 89% - ды құрайды, ал 1600 А/м^2 және 3000 А/м^2 ток тығыздықтарында, сәйкесінше 85% және 65%-ды көрсетті.

Кадмий электродын анодты поляризацияланған кезде оның (3) реакция бойынша ионизацияланып, қарсы орналасқан катод электродында кадмий иондарының біртіндеп тотықсыздану реакциясы орын алады:

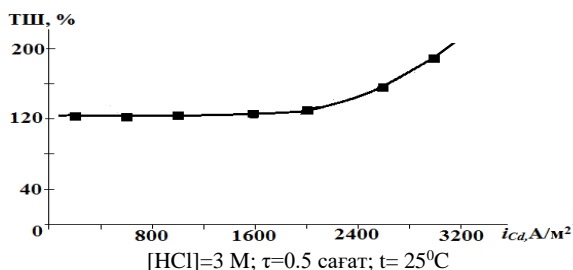


Нәтижесінде белгілі катод ток тығыздықтарында кадмий ұнтақтарының түзілуі байқалады. Ал егер электрод кеңістіктерін анионитті мембрана арқылы бөлсек, анод кеңістігінде кадмий хлориді қосылысы жинақталады..



Сурет 6 – Тұрақты анодты токпен поляризацияланған кадмий электродының еруінің ток бойынша шығымына анодтағы ток тығыздығының әсері.

Импульсті анодты токпен поляризациялау кезінде кадмий электродындағы ток тығыздығының артуымен кадмийдің еруінің ток бойынша шығымы да біртіндеп өсетіндігі анықталды (7-сурет). Кадмийдің анодты импульсті токпен поляризациясы кезінде де кадмийдің (1) реакция арқылы еріп, ал қарсы орналасқан титан электродында кадмий ұнтақтарының түзілуі орын алады. Бұл құбылысты кадмий электродын жиілігі 50 Гц анодты импульсті токпен поляризациялау кезінде, қарсы электрод осындай жиілікте катодты поляризацияға ие болатындығымен түсіндіріледі. Нәтижесінде анодта түзілген кадмий иондары бұл электродта металл ұнтақтарын түзе тотықсызданады.



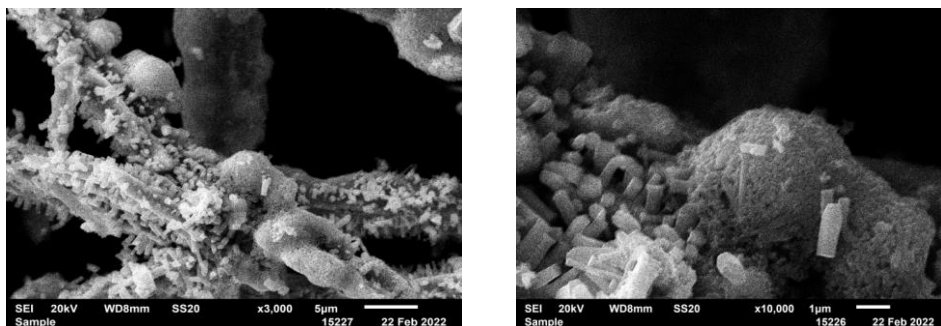
Сурет 7 – Тұз қышқылы ерітіндісінде анодтық импульсті токпен поляризацияланған кадмий электродындағы ток тығыздығының оның еруіне әсері.

Катодты импульсті токпен ұзақ уақыт жоғары ток тығыздықтарында поляризацияланған электродтың бетінде сутек газының бөлінуіне байланысты, бұл электродтың беткі аумағында электролиттің рН-ы жоғарылап, кадмий гидроксидінің түзілуіне мүмкіншілік береді де, нәтижесінде, түзілген кадмий ұнтағы кадмий гидроксидімен ласталады.

Тұз қышқылы ерітіндісінде кадмийдің анодтық импульсті токпен поляризациясы кезінде түзілген кадмийдің сұр түсті ұнтағын жуып, кептіріп, физика-химиялық анализ әдістерімен зерттеу жасалды. Түзілген ұнтақтың элементтік құрамының нәтижесі төменде келтірілген (2-кесте). Ал микрофотолардан байқағанымыз ұнтақ бөлшектерінің өлшемдері 1 және 5 мкм сәйкес екенін көруге болады (8-сурет).

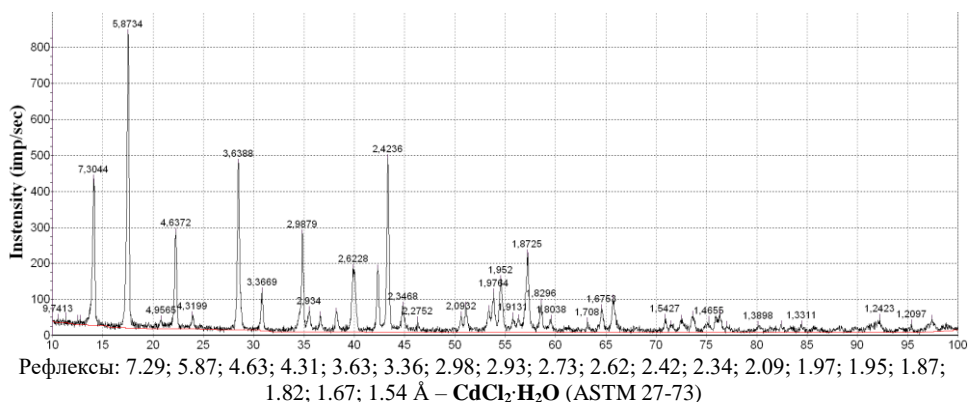
Кесте 2 – Электролиз нәтижесінде түзілген кадмий хлориді ұнтақтарының элементті құрамы

Спектр	O	Cl	Cd	Барлығы
Спектр 1	0.57	38.26	61.17	100.00
Спектр 2	0.70	38.25	61.05	100.00
Спектр 3	0.84	38.22	60.94	100.00
Орташа	0.70	38.24	61.06	100.00



Сурет 8 – Тұз қышқылы ерітіндісінде кадмийдің анодтық импульсті токпен поляризациясы кезіндегі түзілген жинақталған кадмий ұнтағының микрофотографиялары.

Тұз қышқылы ерітіндісінде кадмий электродын титан электродымен жұптастырып айнымалы токпен поляризациялау кезінде құрамында түзілген кадмий хлориді бар электролит бөлініп алынды. Электролизден кейін жиналған электролитті 100⁰С температурада буландырып, түзілген тұнбаны сүзіп, кептіріп, ерітінді құрамындағы кадмий хлориді ұнтағы бөлініп алынды. Түзілген гигроскопиялық ақ түсті ұнтақ рентгенофазалық анализ әдісімен ASTM 27-73 құрылғысында зерттелді (9-сурет). Рентгенофазалық зерттеу нәтижесі негізінде барлық рефлекстер түзілген ұнтақтың кадмий хлоридіне (CdCl₂·H₂O) сәйкес келетіндігін көрсетті.



Сурет 9 – Электролиз нәтижесінде түзілген кадмий хлоридінің рентгенограммасы.

4. Қорытынды

Айнымалы токпен поляризацияланған кадмий электродының тұз қышқылы ерітіндісіндегі электрохимиялық қасиеті алғаш рет жан-жақты зерттелінді. Айнымалы, анодтық және де анодтық импульсті токтармен поляризациялау кезіндегі кадмийдің еруіне әр түрлі электрохимиялық параметрлердің әсерін салыстыра отырып, зерттелді. Стационарлы емес токтармен поляризациялау кезінде кадмий электродынан 100 % жоғары ток

бойынша шығымымен еритіндігін көрсетеді. Зерттеу нәтижелері негізінде кадмий хлоридінің синтездеудің жаңа әдісін жасауға болатындығын көрсетеді. Жан-жақты физика-химиялық анализ әдістерімен зерттеулер жүргізіліп, электролиз нәтижесінде кадмий хлоридінің $CdCl_2 \cdot H_2O$ түзілетіндігі дәлелденді.

Алғыс: Д.В.Сокольский атындағы ИТКЭ мекемесінің Физикалық зерттеу әдістері лабораториясының басшысы А.Р. Бродский мырзаға көрсеткен көмегі үшін алғыс білдіреміз.

Мүдделер қақтығысы: Авторлар бұл мақалада өзара мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ КАДМИЯ В ВОДНЫХ СОЛЯНОКИСЛЫХ РАСТВОРАХ ПРИ ПОЛЯРИЗАЦИИ ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ

А. Баешов^{1*}, А.И Сыдыкова², Х.Н. Жанбеков²

¹«Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан», Алматы, Казахстан

²Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан

*E-mail: bayeshov@mail.ru

Резюме. Введение. В данной работе приведены результаты исследования электрохимического поведения кадмиевого электрода в водных солянокислых растворах при поляризации стационарным и нестационарным токами и показана возможность синтеза его хлорида. *Цель работы* – изучение электрохимического поведения кадмия в водных солянокислых растворах при поляризации переменным током. *Методы.* В ходе исследования было установлено, что при поляризации двух кадмиевых электродов переменным током с частотой 50 Гц растворение их практически не происходит, однако при замене одного электрода на титановый с небольшой площадью поверхности, кадмий интенсивно растворяется. *Результаты и обсуждение:* Изучено влияние основных параметров, таких как продолжительность электролиза, плотность тока, концентрация и природа электролита на электрохимический процесс. Предложена принципиальная схема установки для растворения кадмия поляризацией нестационарным током. Показано, что при изменении плотности тока на титановом электроде в интервале 20-80 кА/м², выход по току растворения кадмиевого электрода постепенно возрастает, а при плотности тока, равной 80 кА/м², выход по току достигает 135%. *Заключение.* Показано, что при поляризации переменным током скорость химического растворения кадмия, как электроотрицательного металла, с выделением водорода возрастает. Для сравнения проведены процессы растворения кадмия при действии постоянного и импульсного анодного тока. В ходе эксперимента при поляризации кадмиевого электрода переменным током была показана возможность получения хлорида кадмия. Химическим и рентгенофазовым методами анализа было доказано, что кадмий образует соединение $CdCl_2 \cdot H_2O$.

Ключевые слова: кадмий, хлорид, электролиз, поляризация, переменный ток, импульсный ток, выход по току, соляная кислота.

Баешов Абдуали

Доктор химических наук, профессор,
академик НАН РК

Сыдыкова Айсауле Исламкызы

магистр, PhD

Жанбеков Хайрулла Нышанович

Доктор науки о Земле, профессор

Әдебиеттер тізімі

1. Высоцкая Н. А., Кабылбекова Б. Н., Айкозова Л. Д., Бекжигитова К. А. Качество кадмиевых покрытий, полученных из электролитов с серо-и фосфорсодержащими поверхностно-активными веществами. *Межд. Журн. Прикл. и фунд. Иссл.* **2020**, 1, 58-62.

2. Аверина Ю. М., Ныркoв Н. П., Шувалoв Д. А., Moисеева Н. А., Капустин Ю. И. Электрoлитическoe кадмирование. *Успехи в хим. и химич. Технол.* **2018**, 32(14), 57-59.
3. Dagdag O., El Harfi A., Safi Z., Guo L., Verma C., Ebenso E. E., El Gouri, M. Fabrication on designing of a macromolecular epoxy resin as anti-corrosive coating material for electrocatalytically deposited cadmium on 15CDV6 steel in 3% NaCl solution. *Jour. of Mat. Res. and Tech.* **2020**, 9(3), 5549-5563. doi:10.1016/j.jmrt.2020.03.080
4. Ахметзянов Б. Н., Васильева А. В., Гетьман А. А. Применение сплавов на основе кадмия. *Металлур. Машиностр.* **2020**, (4), 32-33.
5. Ганиев И. Н., Холoв Ё. Д., Джайлоев Д. Х., Ганиева Н. И., Абулхаев В. Д. Кинетика окисления алюминиевого проводникового сплава E-AlMgSi (алдрей) с кадмием в твердом состоянии. *Изв. высш. уч. завед.Мат. эл. мех.* **2021**, 24(2), 131-137.
6. Filimonov O. V., Galiullina I. F. Plotting phase diagrams of binary alloys and justification of their industrial use. *Jour. of Phys.: Conf. Series* **2020**, 1582(1). doi:10.1088/1742-6596/1582/1/012030
7. Башова А.К., Башoв А., Жұмабай Ф. М. Электрoхимический синтез соединений некоторых d- и p-металлов при поляризации переменным током. Монография. Алматы: ИД «Жибек жoлы» **2022**, 240.
8. Bayeshova A, Bayeshov A, Zhumabay F, Bayeshova S. Dissolution processes of metals during polarization with alternating current of industrial Frequency. *7th Edit. of Inter. Conf. on Catal.s, Chem. Eng. and Tech.* **2021**, 23.
9. Башoв А., Башова А.К. Электрoхимиялык процесстерди химия, гидрoметаллургия, экология және баска да салалардагы өндiрiстiк проблемаларды шешуде колдану. *Докл.нац. акад. наук РК* **2021**, 1, 94-113.
10. Башoв А., Башова А.К., Садыкова А.И. способ получения сульфида кадмия. Патент РК на полезную модель No.7908, от 29.12.2022
11. Wang Y, Xu W, Zhuo Q, Xu Z, Guo Q. Electrochemical recovery of metals from cadmium wastewater. *Chem. Letters* **2014**, 43(8). 1312-1314 <http://dx.doi.org/10.1246/cl.140372>
12. Xia L., Zhang W., Che J., Chen J, Wen P, Ma B, Wang C. Insights into the effect of cations on cathodic behavior and microstructure in cadmium electrochemical recovery process, *Chemosphere* **2022**, 292, 133423.2 <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133423>
13. Луценко Д. С., Гапанович, М. В., Новиков Г. Ф. Особенности активации фотопроводимости тонких пленок Cd-Te смесями галогенидов кадмия. *Вест. Моск. универ. Серия 2. Химия* **2020**, 61(2), 102-107.
14. Худойберганов О. И., Ибрагимов Б. Т., Хасанов Ш. Б., Атаниязов О. Н. Синтез и исследование координационного соединения хлорида кадмия (II) с моноэтаноламином и п-гидроксibenзойной кислотой. *Universum: химия и биология* **2021**, 6(84), 88-92.