

Поли(анилин- о-анизидиннің) электрхимиялық полимерленуі мен антикоррозиялық қасиеті

А.Б. Турлығазиева*, Г.С. Рахымбай,
Е.Ф. Бахытжан, А.М. Аргимбаева,
Б.Д. Буркитбаева

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық
университеті, Физика химиялық талдау
және зерттеу орталығы,
Алматы, Қазақстан

*E-mail: aidana.turlygazy@gmail.com

Берілген жұмыста поли(анилин-о-анизидин) (ПАОА) сополимерінің жұмсақ болат бетінде электрполимерленуі және алынған қаптаманың антикоррозиялық қасиеттері зерттелінді. Электрхимиялық полимерлеу үрдісі 0,3 М $H_2C_2O_4$ электролитінде циклді вольтамперометриялық әдіспен жүргізілді. Қаптаманың морфологиялық және құрамдық талдауы рентгенспектралды сканирлеуші электронды микроскопия көмегімен анықталды. Болат электродының қымыздық қышқылының ерітіндісіндегі поляризациясы кезінде темір оксалаты ($Fe_2C_2O_4$) түзілу есебінен оның бетін пассивтейтіні байқалды. Полимерлі қабаттың қорғау қабілеті 3,5% NaCl ерітіндісіне әртүрлі уақытқа батырылып, сызықты поляризация әдісімен анықталды. Зерттеу нәтижесінде, алынған қаптаманың агрессивті ортаға тұрақтылығы 120 мин құрап (82,73%), уақыт өте қабыршақтың бұзылуынан қорғау дәрежесі төмендегені байқалды.

Түйін сөздер: сополимерлеу; коррозия; электрполимерлеу; анилин; сызықты поляризация.

Электрохимическая полимеризация поли(анилин-о-анизидина) и его антикоррозионные свойства

А.Б. Турлығазиева*, Г.С. Рахымбай,
Е.Ф. Бахытжан, А.М. Аргимбаева,
Б.Д. Буркитбаева

Казахский национальный университет
имени аль-Фараби, Центр физико-
химических методов исследования и
анализа, Алматы, Казахстан

*E-mail: aidana.turlygazy@gmail.com

В данной работе исследованы процессы электрополимеризации сополимера поли(анилин-о-анизидина) (ПАОА) на поверхности мягкой стали и изучены его антикоррозионные свойства. Электрохимическая полимеризация проводилась в 0,3 М растворе $H_2C_2O_4$ методом циклической вольтамперометрии. Морфологический и элементный анализ покрытий проведен с помощью рентгеноспектральной сканирующей электронной микроскопии. Наблюдается, что поляризация стального электрода в растворе щавелевой кислоты приводит к пассивации его поверхности за счет образования оксалата железа ($Fe_2C_2O_4$). Защитная способность полимерного слоя определена методом линейной поляризации при различной экспозиции в 3,5% растворе NaCl. По результатам исследований защитный эффект полученного полимера составил 82,73% при 120 мин выдержки в агрессивной среде. Со временем наблюдается снижение защитной функций полимерного слоя в результате его разрушения.

Ключевые слова: сополимеризация; коррозия; электрополимеризация; анилин; линейная поляризация.

Electrochemical polymerization of poly(aniline-o-anisidine) and its anticorrosion properties

A.B. Turlygazyeva*, G.S. Rakhymbay,
E.G. Bakhytzhana, A.M. Argimbayeva,
B.D. Burkitbayeva

Al-Farabi Kazakh National University, Center
of Physico-Chemical Methods of Research
and Analysis, Almaty, Kazakhstan

*E-mail: aidana.turlygazy@gmail.com

In this work the electropolymerization processes of a poly (aniline-o-anisidine) copolymer (PAAO) on the surface of mild steel and its anticorrosion properties were studied. Electrochemical polymerization was carried out in a 0.3 M solution of $H_2C_2O_4$ by cyclic voltammetry. Morphological and elemental analysis of the coatings was carried out using X-ray scanning electron microscopy. It was observed that the polarization of the steel electrode in solution of oxalic acid results in passivation of its surface via the formation of iron oxalate ($Fe_2C_2O_4$). The protective ability of the polymer layer was determined by linear polarization at different exposures in 3.5% NaCl solution. According to the results, the protective effect of the obtained polymer was 82.73% at 120 min exposure in an aggressive environment. There is a decreasing of the protective functions of the polymer layer as a result of its destruction.

Keywords: copolymerization; corrosion; electropolymerization; aniline; linear polarization.



Поли(анилин-о-анизидиннің) электрхимиялық полимерленуі мен антикоррозиялық қасиеті

А.Б. Тұрлығазиева^{* ID}, Г.С. Рахымбай^{ID}, Е.Ф. Бахытжан^{ID},
А.М. Аргимбаева^{ID}, Б.Д. Буркитбаева^{ID}

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Физика химиялық талдау және зерттеу орталығы, Алматы, Қазақстан
*E-mail: aidana.turlygazy@gmail.com

1. Кіріспе

Жұмсақ болатты немесе басқа да тотығатын металдарды өнеркәсіптік өңдеу кезінде коррозияға төзімділігін жақсартатын көптеген қорғау әдістері бар. Соңғы жылдары осы мақсатта өткізгіш органикалық полимерлі қаптамаларды қолдану үлкен қызығушылық тудырып келеді. Өткізгіш полимерлі қаптамалар масса мен ионды зарядтардың алмасуына және коррозия өнімдеріне тосқауыл ретінде әсер етіп, беттік реакцияларды бұғаттау арқылы металды қорғайды [1-3]. Өткізгіш полимерлерді сулы не органикалық еріткіштерден химиялық немесе электрхимиялық полимерлеу арқылы синтездеуге болады. Электрполимерлеу – мыс, темір және жұмсақ болатты хромдау, мырыштау және никельдеу сияқты дәстүрлі қорғау әдістеріне қарағанда арзан, экологиялық таза альтернативті өңдеу тәсілі. Бұл әдісте полимерлі қаптамалардың қасиетін үдеріс параметрлерін (электролит, электролиттің рН-ы, мономер концентрациясы, синтез температурасы, синтез уақыты және т.б.) дұрыс таңдау арқылы қаптама қалыңдығын, қабат санын және морфологиясын басқаруға болады [4].

Өткізгіш полимерлердің ішінде ауқымды зерттелгені полипиррол, политиофен және полианилин болып табылады. Дегенмен полианилиннің синтезі кезінде көптеген факторлардың әсерін ескеру қажет [5-7]. Көптеген зерттеу жұмыстарын жүргізу арқылы, анилиннің полимерленуі қымыздық қышқылында жақсы адгезияланып тұнатыны анықталды [8, 9].

Соңғы уақытта коррозияны зерттейтін ғалымдардың көпшілігі полимерлеу үрдісін оңтайландыру мақсатында сополимеризациялық жұмыстарға көңіл аударуда. Осыған сәйкес, ғалымдар анилинді әртүрлі полимерлермен

синтездеу үдерісін жүргізген. Анилиннің о-толуидинмен жүргізілген сополимеризациясы, алынған қорғау қабатының өткізгіштігін әртүрлі диапазонда басқара алатынына көз жеткізген [10]. Сонымен қатар, анилиннің *N*-бутиланилин [11], 3-аминофенилбор қышқылы [12], о-фенилендиамин [13] ерітінділермен сополимеризациясы зерттелген. Зерттеу нәтижелері, сополимерлі қабық металл бетіне жақсы адгезияланып, қажетті сипаттамаға қол жеткізе алатындай ыңғайлы синергетикалық әдісті көрсетеді [14]. Берілген жұмыста циклді вольтамперометрия әдісі көмегімен анилин мен о-анизидин негізіндегі сополимерлі қаптамалар қымыздық қышқылы ерітіндісінен болат бетіне синтезделіп, олардың коррозиядан қорғау қабілеті сызықты поляризация әдісімен зерттелінді.

2. Тәжірибелік бөлім

Барлық электрохимиялық тәжірибелер жұмысшы электрод ретінде ауданы 0,125 см² құрайтын жұмсақ болат, салыстырмалы электрод Ag/AgCl (қаныққан KCl ерітіндісінде), қосымша электрод ретінде платина пластинкасы алынған үш электродты ұяшықта жүргізілді.

Анилин мен о-анизидин тазалықтары сәйкесінше ≥99,5% және ≥99% болатын Sigma Aldrich фирмасына тиесілі. Мономерлер қолданылып болған соң, қараңғы салқын жерде сақталды. Электролит ретінде алынған қымыздық қышқылының ерітіндісі H₂C₂O₄ · 2H₂O тұзынан дайындалды.

Әрбір үдерістің алдында электрод беті шифті машинада абразивті қағазбен (800, 1200, 1500, 2000) өңделіп, бидистелденген сумен шайылды. Электродтың бетін майсыздандыру үшін этил спиртімен (90%) сүртілді.

Жұмсақ болат беті 0,3 М H₂C₂O₄ ерітіндісінде циклді вольтамперометрия әдісімен пассивтелді. Пассивация

үдерісі $-0,5-1,4$ В потенциалы аралығында, 20 мВ/с потенциал беру жылдамдығымен 1 цикл түсірілді. Үдерістен кейін электрод беті бидистелденген сумен шайылып, бөлме температурасында 10 мин кептірілді. Тыныштандыру уақыты – 120 с.

Пассивтелген болат бетіне полимерлі қаптамаларды синтездеу келесі электролитте $0,3$ М $H_2C_2O_4$ + $0,1$ М анилин + $0,1$ М о-анизидин жүргізілді. Циклді вольтамперометрия Ag/AgCl-ға қатысты $-0,5$ пен $1,6$ В аралығында, потенциал беру жылдамдығы 20 мВ/с мәнінде 20 цикл түсірілді. Электрод бетіне алынған полимерлі қаптамалар бидистелденген сумен шайылып, 40°C -та 30 мин кептірілді. Тыныштандыру уақыты – 30 с.

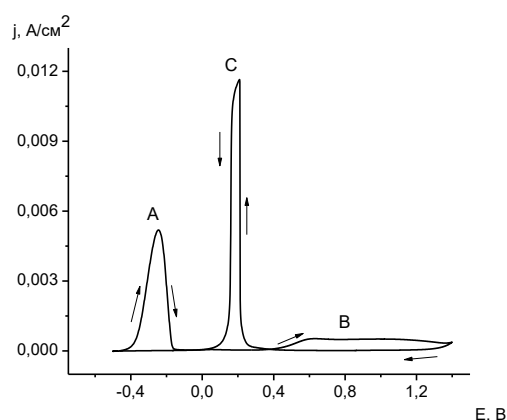
Алынған сополимердің антикоррозиялық қасиеттері $3,5\%$ NaCl фонды ерітіндісінде сызықты поляризация әдісімен зерттелді. Полимердің агрессивті ортаға тұрақтылығын бағалау үшін қаптамалар фонды электролитке 0 м, 30 мин, 1 сағат, 2 сағат және 3 сағат уақыт аралықтарында батырылды.

Барлық тәжірибелер бөлме температурасында ($25\pm 1^\circ\text{C}$) жүргізілді.

3. Нәтижелер және оларды талқылау

Көптеген мономерлердің тотығу потенциалдары металдардың еру аумағына сәйкес келеді. Металдың еруі мономердің тотығуына немесе үрдістің баяу жүруіне әсер етеді. Осыған байланысты, жұмсақ болат бетінде алынатын қаптаманың адгезиясын жақсарту үшін электрод беті алдын ала пассивтелуі тиіс. Жұмсақ болат бетінің $0,3$ М $H_2C_2O_4$ ерітіндісіндегі циклді вольтамперограммасы 1-суретте көрсетілген.

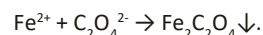
Суреттен $-0,3$ В потенциал шамасында анодты тоқ шыңы байқалады (А шыңы). Ал, $-0,2$ В ÷ $0,4$ В потенциал аралығында тоқ мәні өзгеріссіз қалады. Келесі тоқтың көтерілуі $0,5$ В шамасында аз байқалып, ол потенциалдың $1,4$ В мәніне дейін жалғасады (В толқыны). Циклді кері



1-сурет – $0,3$ М $H_2C_2O_4$ электролитіндегі жұмсақ болаттың циклді вольтамперограммасы

сканерлеу кезінде $0,2$ В ÷ 0 В потенциал аралығында тоқтың күрт өсу байқалып, өткір шың пайда болды (С шыңы).

Жұмсақ болатты ерітіндіге салған кезде ол ең алдымен активті еріп (А шыңы), темір Fe^0 күйінен Fe^{2+} күйіне ауысады [15]. Ерітіндідегі Fe^{2+} иондары оксалат аниондарымен әрекеттесіп, болат бетінде ерімеймін темір (II) оксалаттарын түзеді:

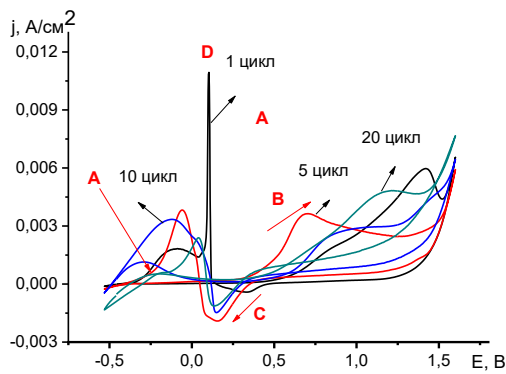


Әрі қарай анодтық үдерісті жалғастырғанда, $0,5$ В потенциал кезінде тоқтың өзгергені байқалған болатын. $0,5$ В жоғары потенциалда темір (II) оксалатты қабатының бір бөлігі тотығып, ерігіш келетін темір (III) оксалаттына айналады. Темір (III) оксалатты ерітіндіде еріген кезде темір (III) оксидін (Fe_2O_3) түзеді. Түзілген Fe_2O_3 пассивті қабатта пайда болған микрокеуектерді бітеп, металды пассивтейді.

Кері сканерлеу барысында темір (III) оксиді бұзыла бастайды (пассивті қабаттың бұзылуы) және белгілі бір потенциалда ($0,2$ В) бірден тотығу үдерісі орын алады. [15] зерттеуінде авторлар болаттың қымыздық қышқылында пассивациясын қарастырған. $0,0-0,3$ В потенциал аралығында темір (II) оксалатының және Fe_2O_3 сигналдары (XPS) байқалған. Бұл өткір тотығу шыңы (С шыңы) Fe_2O_3 бұзылуымен қоса темір (II) оксалатының темір (III) оксалатына ауысатындығын көрсетеді. Темір Fe^{2+} күйінен Fe^{3+} күйіне ауысу реакциясы қорғағыш қабатта кеуектердің пайда болуына алып келеді. Осының нәтижесінде болат беті кеуекті пассивті қабатпен қапталады. Пассивті қаптаманың кеуекті болуы полимеризация үшін тиімді, себебі полимерлердің электрод бетінде жақсы қонуына жағдай жасайды.

Анилин мен о-анизидин әртүрлі электролиттердің қатысуымен оңай тотығуы мүмкін. Алайда, олардың рН төмен мәндерінде ғана жақсы өткізгіштігі бар екенін ескеру керек. Осы мақсатта қымыздық қышқылды ортада пассивацияланған жұмсақ болат бетінде циклді вольтамперометрия әдісімен анилин мен о-анизидин негізінде сополимерлеу жүргізілді (2-сурет).

Үдерістің 1 циклында ғана байқалатын А шыңы (2-сурет) – $0,3$ В потенциал шамасында темірдің еруін көрсетеді. Келесі циклдарда бұл жағдай қайталанбайды, бұл болат бетінің пассивтелуін көрсетеді. Әрі қарай сканерлеуді жүргізгенде $0,5$ В ÷ $1,3$ В аралығында В шыңы байқалады. Жаңа шыңның пайда болуы аминді буындардың катион-радикалдарға айналуын, яғни электролит құрамындағы иондардың әсерінен активті орталық түзіледі. Полианилин (ПАНИ) эмеральдин негіз күйі (көкшіл-күлгін түсті) протондалып эмеральдин тұз күйіне (жасыл түсті) ауысады. Анилинді синтездеудің жалпы электрхимиялық үдерісі $0,65-0,7$ В кезінде түзілген аралық катион-радикалдың және полимерлеудің әрбір сатысы үшін екі электронды тасымалданудың қатысуымен бимолекулярлық реакция ретінде сипатталады [16]. Тотығудың бірінші сатысы протонды радикалдың



2-сурет – 0,3 М $H_2C_2O_4$ ерітіндісінен болат электродының бетіне 0,1 М анилин мен 0,1 М о-анизидиннің сополимерлі қаптамасын синтездеу кезіндегі циклді вольтамперограммалары

тотығуымен байланысты екі протонды бір мезгілде тасымалдануында болады.

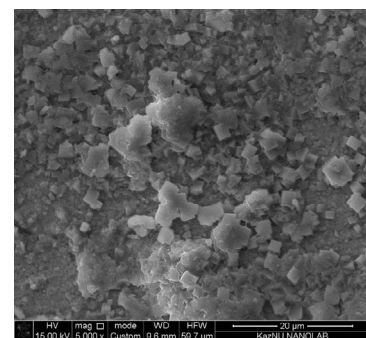
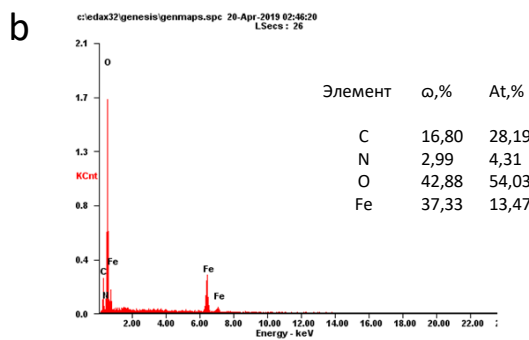
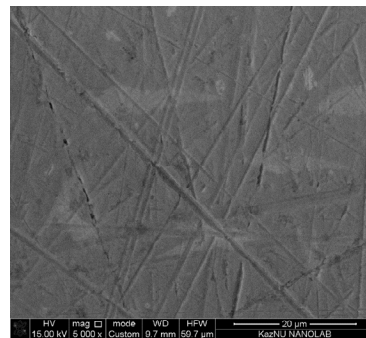
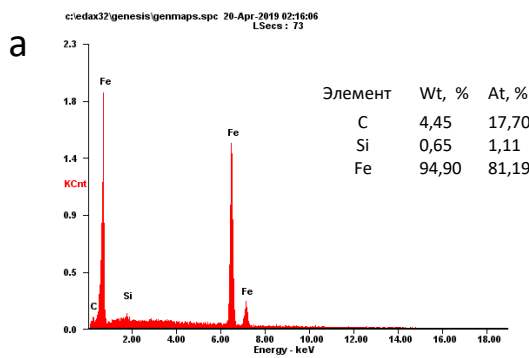
«В» шыңында мономерлердің (анилин, о-анизидин) толық тотығуын көрсетеді. ПАНИ изумрудты тұз (жартылай тотыққан) күйінен (жасыл түсті) пернигранлин (толық тотыққан) күйіне ауысады [16]. Болат бетінде 1,6 В потенциалында қою қара түсті полимердің түзіле бастағаны байқалады. Осы циклдарды тереңірек зерттегенде тотығу (С) шыңының потенциалының жылжуы электролит

құрамындағы мономерлерге байланысты. Анилинге қарағанда о-анизидиннің реакцияласу қабілеті жоғары. О-анизидин тізбегіндегі электрондонорлы $-OCH_3$ сияқты топтар электрофильді ауысулар кезінде болат бетінде адсорбцияланады. Осыған сәйкес электрполимеризация кезінде о-анизидиннің (1,078 В) тотығу потенциалы анилинге (1,35 В) қарағанда төмен болады. Осы мономерлердің сополимерленуі кезінде тотығу потенциалы (1,25 В) екі мономер потенциалының арасын қамтиды.

Циклдің кері қайтуында катодты аймақта С шыңы анилиннің изумрудты тұз (жартылай тотыққан) күйінен лейкоэмеральдин күйіне (тотықсызданған) ауысуын көрсетеді [17]. Яғни, «В» және «С» шыңдары анилиннің тотығу-тотықсыздану үдерістерін сипаттайды.

Поли(анилин-о-анизидин) (ПАОА) тотығу-тотықсыздану шыңдары екінші сканирлеуден бастап пайда бола бастайды, бұл болат электродтың бетінде электр белсенді полимерлік қабаттың жиналуын көрсетеді. Кері сканерлеу кезіндегі тотығу шыңының интенсивтілігі (D шыңы) цикл саны артқан сайын төмендейді, бұл көрсеткіш полимер қабатының қалыңдап жатқандығын айқындайды.

Болат бетінде қаптама түзгендігінің дәлелі ретінде және оның морфологиялық сипаттамасын зерттеу мақсатында сканирлеуші электронды микроскопия әдісімен таза электрод бетінің және қымыздық қышқылды ортадан синтезделген сополимерлерлі қаптаманың микросуреттері мен рентгенспектралды талдау жұмыстары жүргізілді (3а, б суреттер).



3-сурет – а) таза болат және б) сополимермен қапталған болат электродының СЭМ микросуреттері мен рентгенспектралды талдау нәтижелері

За суреттен металл бетінің таза, бөгде заттардың жоқ екендігі байқалады. Энергодисперсті рентгенспектральды зерттеу нәтижесінен болат бетінің элементтік құрамы анықталып, таза болатта С, Si, Fe элементтері бар екендігі байқалды. Яғни, бұл электрод бетінде бөгде заттардың жоқтығының тағы бір дәлелі болып табылады. Электрхимиялық синтез жүрген болат бетін (3б-сурет) таза болат электродының микросуретімен салыстырғанда, кедір-бұдыр, біртекті емес, өлшемдері әр түрлі кристалдар түзгендігі байқалады. Рентгенспектралды талдау нәтижесінен қаптаманың құрамында О, N атомдарының спектрлері және темірдің пайыздық үлесі азайғандығы байқалды. Органикалық қосылыстың құрлымын құрайтын азот және оттегі атомдарының пайда болуы электрод бетінде полимерлі қаптаманың түзгендігін дәлелдейді.

Алынған қаптамалардың агрессивті ортаға төзімділігін анықтау мақсатында таза болат пен қымыздық қышқылды ортада синтезделіп алынған поли(анилин-о-анизидинмен) қапталған электродты 3,5% NaCl ерітіндісіне әртүрлі уақытқа (0, 30, 60, 120, 180 мин) батырып, сызықты поляризация әдісімен коррозиядан қорғау дәрежесі анықталды. Қорғау қабілетін анықтау үшін (1) теңдеуге сәйкес коррозия тоғы мен параметрлерін білуіміз керек.

Ол үшін $\eta=0$ шамасындағы катодтық және анодтық аса кернеу үшін қисықтардың тіксызықты бөлімдерінің экстраполяциясы арқылы коррозия тоғы анықталып, i_0 алмасу тоғы көмегімен есептеулер жүргізілді.

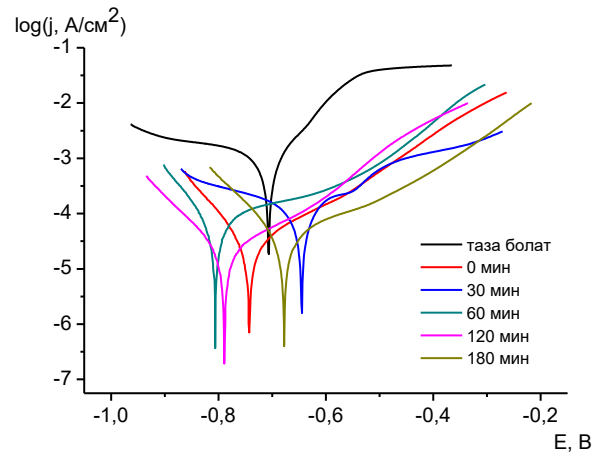
$$Z, \% = \frac{I_{corr} - I_{pol}}{I_{corr}} \times 100\% \quad (1)$$

мұндағы I_{corr} – таза болаттың коррозия тоғы, А;
 I_{pol} – полимерлі қаптама коррозия тоғы, А.

Қымыздық қышқылда синтезделген сополимерлі (анилин-о-анизидин) қаптамалы болат пен қаптамасыз болаттың 3,5% NaCl ерітіндісінде әртүрлі уақытта тіркелген поляризациялық қисығы 4 суретте келтірілген.

Таза болатпен салыстырғанда сополимермен қапталған электродтың тоқ мәндері азайғаны байқалады. Қаптама бар үлгілер үшін I_{corr} едәуір аз мәнінің пайда болуы электролиттің қаптама/металл бөлімінің шекарасына енуіне кедергі келтіретін тиімді тосқауыл қабатының болуын көрсетеді. Тиісінше, коррозия жылдамдығының мәндері (С, мм/жыл) қаптама бар үлгілер үшін де аз. Жұмсақ болат коррозияға өте бейім және тотығу жылдамдығы хлорид иондардың қатысуымен бірнеше есе артады.

Сызықты поляризация қисықтарының нәтижесінде алынған таза болат пен 0,3 М $H_2C_2O_4$ ерітіндісінен синтезделген поли(анилин-о-анизидин) полимерімен қапталған болаттың агрессивті ортаға әр түрлі уақытқа батырғаннан кейінгі коррозия тоғының және (1) теңдеуге сүйене отырып есептелінген қорғау қабілетінің мәндері 1-ші кестеде көрсетілген.



4-сурет – Таза болат пен болат/ПАОА электродының 3,5% NaCl ерітіндісіне әртүрлі уақытқа батырғаннан кейінгі сызықты поляризациялық қисықтары

1-кесте – 3,5% NaCl ерітіндісіне батырылған таза болат пен болат/(ПАОА) электродының антикоррозиялық қасиеттерін сызықты поляризация әдісімен зерттеу нәтижелері

t, мин	$I_{corr} \cdot 10^{-3}, A/cm^2$	Коррозия жылдамдығы, мм/жыл	Z, %
Таза болат	7,03	81,72	-
0	0,98	0,27	86,00
30	1,49	3,33	78,75
60	1,56	1,08	77,68
120	1,21	0,21	82,73
180	1,37	0,36	80,55

Сополимерлі қаптамалардың NaCl 3,5% ерітіндісінде ұсталу уақыты артқан сайын қорғау эффектісі бір артып, бір төмендегенін көруге болады. Бұл жағдай қымыздық қышқылында алынған қаптаманың бір тегіс қонбағандығын көрсетеді. Біртектісіз қапталған электрод бетінде уақыт өте келе электролиттің өтуі үшін арна ретінде қызмет ететін ақаулар мен тесіктер пайда болып, қабаттың астында гальваникалық элемент құрылады, яғни қаптама/металл бөлу шекарасында зарядты тасымалдау реакциясы жүруіне жағдай жасалынады. Ол өз кезегінде қаптама астында коррозияның таралуына алып келеді. Осыған сәйкес, сополимерлі қаптама әртүрлі уақытта әртүрлі қорғағыштық қасиет көрсетті. Нәтижелерден көріп отырғанымыздай, қымыздық қышқылында синтезделген сынамалардың коррозиялық қорғағыштығы төмен болды. Оның себебі қымыздық қышқылының легирлеуші қасиеті мен алынған қаптаманың адгезиясы нашар екенін көрсетті.

Сызықты поляризация нәтижелерінен синтезделген қаптаманың қорғау механизмі туралы мағлұмат алуға болады. Әртүрлі уақытқа батырылған полимерлі электродтың поляризациялық қисықтардағы коррозия потенциалының мәні таза болат бетінің потенциал мәнінен өзгерісі анодтық, қатодтық немесе аралас типті қорғайтынын анықтайды. Потенциалдар айырымы $E = E_{\text{тазаболат}} - E_{\text{полимер}} > 85$ мВ айырмашылық болғанда, потенциал мәнінің теріс немесе оң бағытқа жылжуына қарай катодты немесе анодты қорғау деп айта аламыз [18]. Айырмашылық $\Delta E < 85$ мВ болған жағдайда аралас типті қорғау механизмі деген қорытындыға келуге болады. Келесі кестеде алныған нәтижелер бойынша есептелген потенциал айырымы көрсетілген (2 кесте).

2-кесте – Әртүрлі уақытқа батырылған және таза болат бетінің коррозиялық потенциалдары

t, мин	$E_{\text{коррозия}}, \text{ В}$	$\Delta E, \text{ В}$
Таза болат	-0,706	-
0	-0,740	0,034
30	-0,646	0,060
60	-0,804	0,098
120	-0,789	0,083
180	-0,678	0,028

Кесте нәтижелеріне сүйене, 0, 30, 120, 180 мин батырылған қаптама аралас типті қорғау механизмін көрсеткеніне көз жеткізуге болады. Аралас типті қорғау механизмін көрсететін қаптамалар электрхимиялық коррозияның 2 сатысын да (анодты-металл еруі, катодты-сутектің бөлінуі) тежей алады. Тек 60 мин поляризация потенциалы – потенциал айырымы 85 мВ мәннен жоғары,

катодты аймақта орналасқан. Яғни, бұл көрсеткіштен катодта болатын үдеріс сутектің бөлінуін тежейтін механизммен қорғайтынын көрсетеді. Алынған нәтижеден әртүрлі нәтиже алғанын байқауға болады. Бұл құбылысты да қымыздық қышқылының легирлеуші қасиетінің төмен екендігін көрсетеді. Осыған байланысты, қаптаманың қасиеттерін жоғарылату мақсатында қымыздық қышқылымен қатар, легирлеуші қасиеті жоғары екі негізді қышқылдарды қолданып зерттеулер жүргізудің қажеттілігін туындатады. Бұл жұмыс осы зерттеулердің бастамасы болып табылады.

4. Қорытынды

Зерттеу жұмысы барысында келесідей нәтижелер алынды:

1) Циклді вольтамперометрия әдісімен қымыздық қышқыл электролитінде сополимерлі қаптама синтезделді.

2) Электрхимиялық полимерлеу нәтижесінде алынған қаптаманың микросуреттері электрод бетінде біртекті, адгезиясы нашар ірі кристалдардың түзілгендігін көрсетті. Элементті талдау нәтижесі болат бетіне сополимерлі қосылыс құрамына сай келетін атомдардың бар екендігі анықталды.

3) Қаптаманың антикоррозиялық қасиетін 3,5% NaCl ерітіндісінде зерттеу барысында, 30 мин $Z=78,75\%$, 180 мин. $Z=80,55\%$, ал ең жоғары мән 60 мин. $Z=86\%$ мәндерді көрсетті. Синтезделген сополимерлі қаптаманың агрессивті ортаға 60 мин батырылғаны катодты типті, 0, 30, 120, 180 мин аралас типті ингибиторлы қорғау механизмін көрсетті.

Алғыс білдіру

Жұмыс ҚР БҒМ қолдаумен «АР 05134571 Өндірістік металдарды ингибиторлы және полимерлі нанокөмпазитті қорғау» жобасы аясында жүргізілді.

Әдебиеттер

- 1 Mortimer R.J., Dyer A.L., Reynolds J.R. Electrochromic organic and polymeric materials for display applications // Displays. – 2006. – Vol. 27, Is. 1. – P. 2-18.
- 2 Wang K., Zhang T., Hu Y., Yang W., Shi Y. Synthesis and characterization of a novel multicolored electrochromic polymer based on a vinylene-linked EDOT-carbazole monomer // Electrochimica Acta. – 2014. – Vol. 130. – P. 46-51.
- 3 Wang H., Barrett M., Duane B., Gu J., Zenhausern F. Materials and processing of polymer-based electrochromic devices // Materials Science and Engineering B: Solid-State Materials for Advanced Technology. – 2018. – Vol. 228, Is. November 2017. – P. 167-174.
- 4 Janoschka T., Martin N., Hager M.D., Schubert U.S. An Aqueous Redox-Flow Battery with High Capacity and Power: The TEMPTMA/MV System // Angewandte Chemie – International Edition. – 2016. – Vol. 55, Is. 46. – P. 14427-14430.
- 5 Özyilmaz A.T., Erbil M., Yazici B. The electrochemical synthesis of polyaniline on stainless steel and its corrosion performance // Current Applied Physics. – 2006. – Vol. 6, Is. 1. – P. 1-9.
- 6 Gribkova O.L., Nekrasov A.A., Ivanov V.F., Zolotarevsky V.I., Vannikov A. V. Templating effect of polymeric sulfonic acids on electropolymerization of aniline // Electrochimica Acta. – Elsevier Ltd, 2014. – Vol. 122. – P. 150-158.
- 7 Mousa H.M., Aggas J.R., Guiseppi-Elie A. Electropolymerization of aniline and (N-phenyl-o-phenylenediamine) for glucose biosensor application // Materials Letters. – 2019. – Vol. 238. – P. 267-270.

- 8 Kraljić M., Mandić Z., Duić L. Inhibition of steel corrosion by polyaniline coatings // *Corrosion Science*. – 2003. – Vol. 45, Is. 1. – P. 181-198.
- 9 Ozyilmaz A.T., Erbil M., Yazici B. The corrosion behaviours of polyaniline coated stainless steel in acidic solutions // *Thin Solid Films*. – 2006. – Vol. 496, Is. 2. – P. 431-437.
- 10 Borole D.D., Kapadi U.R., Mahulikar P.P., Hundiwale D.G. Electrochemical synthesis and characterization of conducting copolymer: Poly(o-aniline-co-o-toluidine) // *Materials Letters*. – 2006. – Vol. 60, Is. 20. – P. 2447-2452.
- 11 Arjomandi J., Makhdomi H., Parvin M.H. Novel conducting poly (p-nitro aniline-co-N-methyl aniline): Electrosynthesis, mechanism and in situ spectroelectrochemical characterization // *Synthetic Metals*. – 2016. – Vol. 220. – P. 123-133.
- 12 Çiftçi H., Tamer U., Teker M.Ş., Pekmez N.Ö. An enzyme free potentiometric detection of glucose based on a conducting polymer poly (3-aminophenyl boronic acid-co-3-octylthiophene) // *Electrochimica Acta*. – 2013. – Vol. 90. – P. 358-365.
- 13 Gicevicius M., Kucinski J., Ramanaviciene A., Ramanavicius A. Tuning the optical pH sensing properties of polyaniline-based layer by electrochemical copolymerization of aniline with o-phenylenediamine // *Dyes and Pigments*. – 2019. – Vol. 170, Is. January. – P. 107457.
- 14 Borole D.D., Kapadi U.R., Mahulikar P.P., Hundiwale D.G. Electrochemical synthesis and characterization of the conducting copolymer poly(aniline-co-o-anisidine-co-o-toluidine) // *Designed Monomers and Polymers*. – 2004. – Vol. 7, Is. 4. – P. 337-349.
- 15 Wu S., Jia C., Fu X., Weng X., Zhang J., Deng L. A novel electrochromic and broad infrared emissivity modulation film based on the copolymer of aniline and o-anisidine // *Electrochimica Acta*. – 2013. – Vol. 88. – P. 322-329.
- 16 Wankhede M.G., Koinkar P.M., More M.A., Patil P.P., Gangal S.A. Poly(O-anisidine) coatings on low carbon steel // *Materials Science and Engineering A*. – 2002. – Vol. 332, Is. 1-2. – P. 161-166.
- 17 Martyak N.M., McAndrew P., McCaskie J.E., Dijon J. Electrochemical polymerization of aniline from an oxalic acid medium // *Progress in Organic Coatings*. – 2002. – Vol. 45, Is. 1. – P. 23-32.
- 18 Ates M., Topkaya E. Nanocomposite film formations of polyaniline via TiO₂, Ag, and Zn, and their corrosion protection properties // *Progress in Organic Coatings*. – 2015. – Vol. 82. – P. 33-40.

References

- 1 Mortimer RJ, Dyer AL, Reynolds JR (2006) *Displays* 27:2-18. <http://doi.org/10.1016/j.displa.2005.03.003>
- 2 Wang K, Zhang T, Hu Y, Yang W, Shi Y (2014) *Electrochim Acta* 130:46-51. <http://doi.org/10.1016/j.electacta.2014.02.153>
- 3 Wang H, Barrett M, Duane B, Gu J, Zenhausern F (2018) *Mater Sci Eng B Solid-State Mater Adv Technol* 228:167–174. <http://doi.org/10.1016/j.mseb.2017.11.016>
- 4 Janoschka T, Martin N, Hager MD, Schubert US (2016) *Angew Chemie - Int Ed* 55:14427-14430. <http://doi.org/10.1002/anie.201606472>
- 5 Özyilmaz AT, Erbil M, Yazici B (2006) *Curr Appl Phys* 6:1-9. <http://doi.org/10.1016/j.cap.2004.06.027>
- 6 Gribkova OL, Nekrasov AA, Ivanov VF, Zolotarevsky VI, Vannikov AV (2014) *Electrochim Acta* 122:150-158. <http://dx.doi.org/10.1016/j.electacta.2013.12.025>
- 7 Mousa HM, Aggas JR, Guiseppi-Elie A (2019) *Mater Lett* 238:267-270. <http://doi.org/10.1016/j.matlet.2018.12.012>
- 8 Kraljić M, Mandić Z, Duić L (2003) *Corros Sci* 45:181-198. [http://doi.org/10.1016/S0010-938X\(02\)00083-5](http://doi.org/10.1016/S0010-938X(02)00083-5)
- 9 Ozyilmaz AT, Erbil M, Yazici B (2006) *Thin Solid Films* 496:431-437. <http://doi.org/10.1016/j.tsf.2005.08.306>
- 10 Borole DD, Kapadi UR, Mahulikar PP, Hundiwale DG (2006) *Mater Lett* 60:2447-2452. <http://doi.org/10.1016/j.matlet.2006.01.014>
- 11 Arjomandi J, Makhdomi H, Parvin MH (2016) *Synth Met* 220:123-133. <http://doi.org/10.1016/j.synthmet.2016.05.030>
- 12 Çiftçi H, Tamer U, Teker MŞ, Pekmez NÖ (2013) *Electrochim Acta* 90:358-365. <http://doi.org/10.1016/j.electacta.2012.12.019>
- 13 Gicevicius M, Kucinski J, Ramanaviciene A, Ramanavicius A (2019) *Dye Pigment* 170:107457. <http://doi.org/10.1016/j.dyepig.2019.04.002>
- 14 Borole DD, Kapadi UR, Mahulikar PP, Hundiwale DG (2004) *Des Monomers Polym* 7:337-349. <http://doi.org/10.1163/1568555041475266>
- 15 Wu S, Jia C, Fu X, Weng X, Zhang J, Deng L (2013) *Electrochim Acta* 88:322-329. <http://doi.org/10.1016/j.electacta.2012.10.067>
- 16 Wankhede MG, Koinkar PM, More MA, Patil PP, Gangal SA (2002) *Mater Sci Eng A* 332:161-166. [http://doi.org/10.1016/S0921-5093\(01\)01724-5](http://doi.org/10.1016/S0921-5093(01)01724-5)
- 17 Martyak NM, McAndrew P, McCaskie JE, Dijon J (2002) *Prog Org Coatings* 45:23-32. [http://doi.org/10.1016/S0300-9440\(02\)00070-X](http://doi.org/10.1016/S0300-9440(02)00070-X)
- 18 Ates M, Topkaya E (2015) *Prog Org Coatings* 82:33-40. <http://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2015.01.014>