

МЕТАЛЛУРГИЯ ВА МАВОДШИНОСӢ - МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ - METALLURGY AND MATERIALS SCIENCE

УДК: 669.24: 620.1: 620.193.01

DOI: 10.65599/ENG9135

ТАЪСИРИ ИЛОВАИ НИКЕЛ БА ПОТЕНЦИАЛИ КОРРОЗИЯИ ОЗОДИ ХУЛАҶОИ Zn5Al ВА Zn55Al ДАР МУҲИТИ МАҲЛУЛИ NaCl

З.Ф. Нарзуллоев, Ҷ.Н. Алиев, И.Н. Ганиев

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон

Дар ин мақола таъсири иловаҳои хурди никел (0.01–0.5 вазн.%) ба ҳосиятҳои зангзанӣ-электрохимиявии хӯлаҳои рухӣ-алюминийи Zn5Al ва Zn55Al дар маҳлулҳои NaCl бо консентратсияи 0.03 ва 3.0 вазн.% омӯхта шудаанд. Тадқиқот дар шароити назоратшаванда барои арзёбии устувории хӯлаҳо дар муҳитҳои, ки коррозияи атмосферӣ ва баҳриро тақдир мекунад, гузаронида шудаанд. Потенсиали коррозияи озод (*E_{з.озод}*) барои 60 дақиқа пас аз ғўтонидани намунаҳо дар маҳлули NaCl ба қайд гирифта шудаанд. Ҳамин муддати вақт барои устувор гардидани параметрҳои электрохимиявӣ ва ташаққули пардаи оксидии ибтидоӣ дар сатҳ кифоягӣ менамояд. Нишон дода шудааст, ки дохил кардани никел пайваста потенсиали коррозияи озодро ба самти минтақаи мусбат, махсусан дар маҳлули NaCl-и обшуда, интиқол мекунад, ки аз афзоиши устувории термодинамикии хӯлаҳо шаҳодат медиҳад. Ин эҳтимоли аз сабаби тағирёбии сохтори қабати рӯйсатҳӣ ва хоҳишёбии фаъолнокии мавзёҳои анодӣ вобастагӣ дошта бошад. Афзоиши консентратсияи ионҳои хлорид суръати коррозияро зиёд мекунад ва ба ҷойивазкунии потенциал ба самти манфӣ оварда мерасонад, зеро ионҳои хлор пардаҳои муҳофизатиро фаъолон ва ҷиравон мекунад ва раванди коррозияи маҳаллиро меангезад. Маълумоти бадастовардашуда имконият медиҳанд, ки таркиби хӯлаҳо барои истифода дар муҳитҳои гуногуни агрессивӣ беҳсозӣ намоем.

Калидвожаҳо: хӯлаҳои рухӣ-алюминийгӣ, никел, потенсиали коррозияи озод, NaCl, поляризатсияи анодӣ, устуворӣ ба зангзанӣ.

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК НИКЕЛЯ НА ПОТЕНЦИАЛ СВОБОДНОЙ КОРРОЗИИ СПЛАВОВ Zn5Al и Zn55Al В СРЕДЕ ЭЛЕКТРОЛИТА NaCl

З.Ф. Нарзуллоев, Дж.Н. Алиев, И.Н. Ганиев

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими, г. Душанбе, Республика Таджикистан

В работе изучено влияние малых добавок никеля (0,01–0,5 мас. %) на коррозионно-электрохимические свойства цинково-алюминиевых сплавов Zn5Al и Zn55Al в растворах NaCl концентрацией 0,03 и 3,0 мас. %. Исследования проводили в контролируемых условиях, чтобы оценить устойчивость сплавов в средах, моделирующих атмосферную и морскую коррозию. Потенциал свободной коррозии (*E_{св.кор.}*) регистрировали в течение 60 мин после погружения образцов в электролит – этого времени достаточно для стабилизации электрохимических параметров и формирования первичной оксидной плёнки на поверхности. Показано, что введение никеля стабильно смещает потенциал свободной коррозии в положительную область, особенно в разбавленном растворе NaCl, что свидетельствует о повышении термодинамической устойчивости сплавов. Вероятно, это связано с изменением структуры поверхностного слоя и снижением активности анодных участков. Повышение концентрации хлорид-ионов увеличивает скорость коррозии и приводит к смещению потенциала в отрицательную сторону, поскольку ионы хлора активно разрушают защитные плёнки и стимулируют локальные коррозионные процессы. Полученные данные позволяют оптимизировать состав сплавов для эксплуатации в различных агрессивных средах.

Ключевые слова: цинково-алюминиевые сплавы, никель, потенциал свободной коррозии, NaCl, анодная поляризация, коррозионная стойкость.

EFFECT OF NICKEL ADDITIVES ON THE FREE CORROSION POTENTIAL OF Zn5Al AND Zn55Al ALLOYS IN A NaCl ELECTROLYTE ENVIRONMENT

Z.F. Narzullov, J.N. Aliev, I.N. Ganiev

Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi, Dushanbe, Tajikistan

This paper examines the effect of small nickel additions (0.01–0.5 wt.%) on the corrosion-electrochemical properties of Zn5Al and Zn55Al zinc-aluminum alloys in NaCl solutions with concentrations of 0.03 and 3.0 wt.%. The studies were conducted under controlled conditions to evaluate the stability of the alloys in environments simulating atmospheric and marine corrosion. The free corrosion potential (*E_{freecor.}*) was recorded for 60 min after immersion of the samples in the electrolyte—this time is sufficient for stabilization of the electrochemical parameters and formation of the primary oxide film on the surface. It is shown that the introduction of nickel consistently shifts the free corrosion potential toward the positive region, especially in a dilute NaCl solution, indicating an increase in the thermodynamic stability of the alloys. This is likely due to changes in the structure of the surface layer and a decrease in the activity of the anodic sites. Increasing the chloride ion concentration increases the corrosion rate and leads to a negative potential shift, as chloride ions actively destroy protective films and stimulate localized corrosion processes.

The obtained data allow us to optimize the alloy composition for use in various aggressive environments.

Keywords: zinc-aluminum alloys, nickel, free corrosion potential, NaCl, anodic polarization, corrosion resistance

Муқаддима (Introduction)

Хӯлаҳои руҳӣ-алюминий бо шарофати як қатор тавсифҳои истифодашавандагии бомувафақияти якҷояшавӣ ба таври васеъ ҳамчун масолеҳи конструксионӣ ва муҳофизат аз зангзанӣ истифода мешаванд: мустаҳкамии кофии механикӣ, қобилияти технологии хуб ҳангоми коркард ва рехтагарӣ ва муқовимати нисбатан баланди ба зангзанӣ истодагарӣ доштан дар шароити атмосферӣ ва муҳитҳои агресивии паст. Ин хосиятҳо системаҳои руҳӣ-алюминийро дар соҳаҳои гуногун маъмул мегардонанд – аз истеҳсоли маснуоти пайвандӣ ва элементҳои конструксияҳои сохтмонӣ то истифодашавии онҳо ҳамчун рӯйпӯшҳои муҳофизатӣ барои маснуоти пӯлодӣ, ба монанди гальванизатсия ва руҳандуди тафсон. Алюминий дар таъмини муқовимат ба коррозияи ин хӯлаҳо нақши калидӣ мебозад: он ба ташаккули пардаи зичи оксидии худбарқароршаванда дар рӯи он мусоидат мекунад, ки самаранок оксидшавии минбаъдаи металро пешгирӣ мекунад. Ғайр аз ин, мавҷудияти алюминий хосиятҳои рехтагарии хӯларо беҳтар мекунад, майли пайдоиши нуқсонҳои нишастро коҳиш медиҳад ва якхела будани умумии сохти таркибиро зиёд мекунад [1].

Бо вучуди ин, дар муҳитҳои агресивии хлорӣ, хосиятҳои истифодабарии хӯлаҳои руҳӣ-алюминий ба таври назаррас коҳиш меёбанд. Сабаби асосии ин парокандашавии шадиди анодии фазаи руҳ аст, ки дар чуфти гальванӣ бо алюминий ва пайвастагиҳои байниметаллии он ҳамчун анод амал мекунад ва ба коррозияи афзалиятнок дучор мешавад. Ионҳои хлор бо қувваи баланди воридшавии худ, пардаҳои муҳофизатии оксидро фаъолона вайрон мекунад, ба ташаккули комплексҳои хлоридии ҳалшаванда мусоидат мекунад ва равандҳои маҳаллии коррозияро аз қабili пайдоиши коррозияи питтингӣ ва тарқишӣ, оғоз мекунад. Паст шудани муқовимати зангзанӣ махсусан дар муҳитҳое, ки консентратсияи баланди хлорид доранд, ба назар мерасад – масалан, дар оби баҳр ё таҳти таъсири реагентҳои яхкунӣ. Дар чунин шароит, ҳатто нуқсонҳои ночизи рӯйпӯш ё микротарқишҳо метавонанд зуд ба манбаи нуқсонҳои амиқ табдил ёбанд, ки муҳлати хизмати маснуотҳоро аз хӯлаҳои руҳӣ-алюминий ба таври назаррас коҳиш медиҳанд.

Илова кардани миқдори ками никел яке аз усули ояндадори афзоиши муқовимат ба коррозияи системаҳои руҳӣ-алюминий ҳисобида мешавад. Никел, ки нисбат ба руҳ ва алюминий электромусбӣ мансуб меёбад, метавонад таркиби фазавӣ ва сохти таркибии хӯларо тағйир диҳад ва ба булӯрбандӣ ва ташаккулёбии ташкилдиҳандаҳои сохти таркибӣ таъсири тағйирдиҳанда расонад. Хусусан, ворид намудани ҳатто миқдори ночизи никел (дар диапозони даҳяк ва садяки фоиз) ба ташаккулёбии сохти таркибии нисбатан майдадона аз ҳисоби таъсир расонидан ба кинетикаи ташаккулёбӣ ва афзоиши булӯрҳо, инчунин ташаккули қабатҳои зичи фазаҳои муҳофизатӣ дар сарҳадҳои дончаҳо ва дар сатҳи хӯла мусоидат мекунад. Чунин тағйироти сохти таркибӣ боиси пастшавии фаъолнокии умумии минтақаҳои анодӣ, пастшавии суръати ҳалшавии фазаи руҳ ва афзоиши устувории умумии термодинамикии масолеҳ дар муҳитҳои зангзананда мегардад. Ғайр аз ин, ҳуди никел бо муқовимати баланди зангзанӣ дар бисёр муҳитҳо, аз ҷумла муҳитҳои дар асоси хлорид мавҷудбуда, аз сабаби қобилияти он барои ташкили қабатҳои устувори оксиди ғайрифәъол тавсиф мешавад. Аз ин рӯ, никел на танҳо ҳамчун иловаи ҷавҳарикунонда, балки ҳамчун рӯйпуши муҳофизатии мустақил – масалан, ҳангоми бо никел рӯйпуш намудани маснуот аз пӯлод ва мис васеъ истифода мешавад. Устувории баланди химиявии никел, муқовимати он ба оксидшавӣ ва қобилияти нигоҳ доштани хосиятҳои муҳофизатӣ дар диапозони васеи pH никелро ба як компоненти арзишманд дар системаҳои муҳофизат аз зангзанӣ табдил медиҳад [1, 5–7].

Мақсади ин тадқиқот омӯзиши ҳамаҷонибаи таъсири иловаҳои ночизи никел ба рафтори электрохимиявии хӯлаҳои руҳӣ-алюминийи системаҳои Zn5Al ва Zn55Al дар муҳитҳои хлоридӣ мебошад. Дар доираи тадқиқот таваҷҷуҳи асосӣ ба тағйирёбии потенциали коррозияи озод – параметри калидии термодинамикӣ, ки ҳассосияти масолеҳро ба вайроншавии зангзанӣ тавсиф мекунад, ҷудо карда мешавад. Ҳамзамон рафтори анодии хӯлаҳо, аз ҷумла кинетикаи ҳалшавии анодӣ ва хусусиятҳои ташаккули минбаъҳои коррозияи маҳдуд таҳлил карда мешавад. Таҷрибаҳо дар маҳлулҳои обии хлориди натрий бо консентратсияҳои гуногун – 0,03 ва 3,0 %-и вазн гузаронида мешаванд, ки имкони амсиласозии ҷӣ агресивии бо эътидол, ва ҷӣ шароитҳои баландагресивии

истифодашаванда, наздик ба шартҳои таъсири фурӯнишини атмосферӣ ва муҳитҳои баҳрӣ монанд аст, фароҳам меоварад. Чунин нуқтаи назар имкон медиҳад, ки қонуниятҳои таъсири никел ба коррозиятовариҳои хӯлаҳо вобаста аз агрессивӣ будани муҳит ва концентратсияҳои иловаҳои муътадил муайян карда шавад, ки самарайи муҳофизатии баландро таъмин менамояд. Натиҷаҳои бадастоварда метавонанд барои таҳияи таркибҳои нави хӯлаҳои руҳӣ-алюминий бо хосиятҳои беҳтар кардашудаи тавсифҳои зидди зангзанӣ, ки барои истифода дар шароити душвори корӣ мувофиқанд, истифода шаванд [8–12].

Маводҳо ва усулҳо (*Materials and methods*)

Объектҳои таҳқиқот хӯлаҳои руҳӣ-алюминийи системаҳои Zn5Al ва Zn55Al ба ҳисоб мераванд, ки бо иловаҳои хурди никел дар концентратсияҳои 0,01; 0,05; 0,1 ва 0,5 вазн.% тағйир дода шуда буданд. Интиҳоби маҳс ҳуди ҳамин концентратсияҳо барои муайян кардани арзишҳои оstonаи миқдори никел, ки дар онҳо тағйироти назаррас дар хосиятҳои зангзанӣ-электрохимиявӣ хӯлаҳо ба назар мерасанд, инчунин пайгирии вобастагии ин хосиятҳо аз миқдори иловаи дохилгардида фаҳмонида мешавад. Хӯлаҳоро бо роҳи ғудохтани индуксионӣ дар бўтаи графитӣ ба даст оварда шуданд, ки гармкунии якхеларо таъмин мекунад ва таъсири ноҳаҳами байни ғудохта ва маводи зарфро ба ҳадди ақал мерасонад. Пас аз ноил гардидан ба ҳарорати зарурӣ, ғудохта барои якхела кардани таркиб бодикқат омехта карда шуд ва сипас ба қолабҳои металли пешакӣ гармкардашуда рехта шуд. Ин амал аз тағйироти ногаҳонии ҳарорат пешгирӣ карда шуд, хатари нуқсонҳои дохилиро кам кард ва сохтори зич ва якхелаи рехтаҳоро таъмин намуд.

Ба сифати маводди ибтидоии истифодашуда руҳ ва алюминийи тозаи баланд бо миқдори металли асосӣ на камтар аз 99,9% аз рӯи вазн истифода шуданд, ки таъсири ҳадди ақали ғашҳои бегонаро ба натиҷаҳои таҷрибаҳо таъмин кард, инчунин никели маҳлулӣ, ки бо дараҷаи баланди тозагӣ ва тақсимои якхела дар дохили матритсаи хӯла тавсиф мешавад, низ истифода бурда шуд. Пас аз булӯршавии пурра, рехтаҳо ба таври механикӣ барои гирифтани намунаҳои андозаҳои қатъӣ муайяншуда - 10 x 10 x 3 мм - коркард карда шуданд, ки такроршавандагии шароити санҷиш ва муқоисаи дақиқи натиҷаҳоро байни силсилаҳои гуногуни таҷрибавӣ таъмин намуд.

Пеш аз оғози ҷенкуниҳои электрохимиявӣ, сатҳи кории намунаҳо бо истифода аз тартиби бисёрзинагӣ бодикқат омода карда шуд. Аввалан, он пай дар пай бо қоғази сунбода бо андозаи дончаҳои аз P400 то P1000 суфта карда шуд. Ин пайдарпай имкон дод, ки нуқсонҳои сатҳӣ, осори қабати рехтаҳо ва осеби механикӣ бе эҷоди харошиданҳои амиқ тадриҷан бартараф карда шаванд. Сипас, сатҳ дар ҷархи пашмин бо истифода аз ҳамираи оксиди алюминий сайқал дода шуд, то дурахши оинамонанд ва ноҳамвории ҳадди ақал ба даст оварда шавад, ки барои ба даст овардани маълумоти устувор ва бозътимоди электрохимиявӣ бениҳоят муҳим мебошад. Пас аз сайқалдиҳӣ, намунаҳо бо оби муқаттар (соф) шуста шуданд, то зарраҳои абразивии боқимондари тоза кунанд, бо спирти этилӣ равшан тоза карда шуданд, то таъсири ифлоскундаҳои органикӣ ба равандҳои электрохимиявӣ бартараф карда шаванд ва бо ҷараёни ҳавои гарм хушк карда шаванд, то аз пайдоиши пардаҳои оби адсорбсияшуда, ки метавонанд натиҷаҳои ҷенкуниро таҳриф кунанд, пешгирӣ карда шаванд.

Масоҳати сатҳи кории кушодаи ҳар як намуна қатъиян назорат ва ба 1 см² танзим карда шуд - ин амал ҳамчун беҳтарин барои таъмини ҳассосияти кофии ҷенкунӣ ҳангоми нигоҳ доштани устувории параметрҳо дар давраҳои тӯлонии тадқиқот интиҳоб карда шуд. Сатҳҳои боқимондаи намунаҳо бо лаки химиявӣ пойдор пӯшонидани шуда буданд, ки онҳоро аз алоқа бо маҳлули NaCl бозътимод ҷудо мекард ва бо ин васила таъмин мекард, ки хабарҳои электрохимиявӣ сабтшуда танҳо аз рафтори минтақаи тадқиқот вобастаанд. Тадқиқоти электрохимиявӣ дар як ҳуҷайраи сеэлектродии стандартӣ дар ҳарорати қатъиян назоратшавандаи (20 ± 2) °C гузаронида шуд, ки таъсири ноустувории ҳароратро ба кинетикаи равандҳои зангзанӣ ба ҳадди ақал расонд ва муқоисаи натиҷаҳоро байни силсилаҳои гуногуни тадқиқот таъмин кард. Намунаҳои омодашудаи хӯлаҳои омӯхташуда ҳамчун электроди корӣ, пластинаи платинӣ, ки дорои гузаронандагии баланди барқӣ ва муқовимати химиявӣ дар диапозони васеи потенциалҳо мебошад, ҳамчун электроди ёрирасон ва электроди хлориди нукра (Ag/AgCl), ки бо устувории потенциал ва осонии истифода тавсиф мешавад, ҳамчун электроди истинодӣ хизмат мекарданд. Дар ҳолатҳои зарурӣ, барои ба як шакл даровардани

маълумот ва муқоиса бо арзишҳои нашршуда, потенциалҳо нисбат ба электроди стандартҳои гидроген бо истифода аз таносубҳои маълуми термодинамикӣ аз нав ҳисоб карда шуданд.

Ҳангоми тадқиқот маҳлули оби хлориди натрий бо концентратсияҳои 0,03 ва 3,0 вазн.%, ки дар оби муқаттари баландсифат омода гардида буданд, истифода шуданд. Ин концентратсияҳо барои тақлид кардани шароити гуногуни корӣ интихоб карда шуданд: маҳлули омехташуда (0,03 вазн.%) коррозияи атмосфераро дар муҳити муътадили агрессивӣ шабоҳат медиҳад, дар ҳоле ки маҳлули концентратсияшуда (3,0 вазн.%) таъсири оби баҳр ва дигар муҳитҳои дорои намаки баландро тақлид мекунад. Маҳлулҳо фавран пеш аз ҳар як тадқиқот омода карда шуданд, то тағйироти эҳтимолии таркибӣ аз сабаби бухоршавии об ё гидролиз бартараф карда шаванд ва дар ҳарорати ҳонагӣ ҳадди аққал 1 соат нигоҳ дошта шуданд, то гомогенизатсияи пурра ва устувории параметрҳои физикию химиявӣ ба даст оварда шаванд.

Потенсиали коррозияи озод аз лаҳзаи ғўтонидани намуна дар маҳлули NaCl барои 60 дақиқа ба қайд гирифта шуд. Таҷрибаҳои пешакӣ нишон доданд, ки ин вақт барои муқаррар кардани арзиши потенциали ҳолати устувор, ки мувозинати динамикии байни равандҳои анодӣ ва катодиро дар сатҳи хӯла инъикос мекунад, кофӣ аст. Барои ба даст овардани қатъаҳои поляризатсионии анодӣ, мо речаи потенциалдинاميкиро бо суръати таъбиқи потенциали 2 мВ с^{-1} истифода бурдем, ки барои чунин тадқиқот умуман қабул карда мешавад ва тавозуни байни суръати сканкунӣ ва ҳалли маълумотро таъмин мекунад. Диапазони ҷобачокунии потенциал аз арзиши потенциали коррозияи озоди муқарраршуда дар минтақаи анодӣ то пайдо шудани аломатҳои возеҳи ҳалшавии шадиди хӯла - афзоиши якбораи зичии ҷараён, ташаккули манбаҳои коррозияи маҳаллӣ ё тағйирот дар морфологияи сатҳӣ, ки бо муоинашаванда ё тавассути тағйироти хос дар қатъаҳои поляризатсия сабт шудаанд, интихоб карда шуд. Барои баланд бардоштани эътимоднокии ва такроршавандагии натиҷаҳо, ҳар як хӯла се маротиба дар шароити якхела санҷида шуд. Ин амал имкон дод, ки тамоил доштани тасодуфии имконпазир ба сохти таркибии гуногунҷинсии намунаҳо ё ноустувории ночиз дар параметрҳои танзимоти таҷрибавӣ ба инобат гирифта шаванд. Баъди гузаронидани як қатор силсилаҳои ченкунӣ, қиматҳои миёнаи потенциали коррозияи озод ҳисоб карда шуд, инчунин тамоили стандартӣ, ки паҳн намудани маълумотро тавсиф менамояд, муайян карда шуд. Ҳаттои ченкунии потенциал аз $\pm 5\%$ зиёд набуд, ки ба талаботи дақиқии тадқиқоти электрохимиявии чунин намуд ҷавобгӯ буда, эътимоднокии натиҷаҳои бадастомадаро тасдиқ мекунад. Маълумоти таҷрибавӣ бо истифода аз усулҳои стандартӣ омӯрӣ, аз ҷумла ҳисоб кардани қиматҳои миёна, фосилаҳои эътимод ва коэффитсиентҳои тағйирёбӣ коркард карда шуданд, ки пас аз он онҳо дар шакли ҷадвали ҷамъбасти (Ҷадвали 1) ҷамъовари гардидаанд, ки осонии таҳлил ва пешниҳоди возеҳии натиҷаҳо ро таъмин кард [3–4].

Натиҷаҳо (Results)

1. *Динамикаи тағйирёбии потенциал.* Пас аз ғарқ кардани намунаҳо ба маҳлули NaCl, дар дақиқаҳои аввал тағйирёбии босуръати потенциал ба минтақаи мусбат мушоҳида карда шуд. Минбаъд муътадилгардии бузургӣҳо пас аз 40–50 дақиқа ба амал омад, ки бо ташаккул ёфтани пардаи оксиди муҳофизатӣ дар сатҳи хӯла алоқамандӣ дорад.

2. *Таъсири никел ба хӯлаи Zn5Al.* Дар маҳлули 0,03% NaCl (баъди 60 дақиқа): Zn5Al: -0,940 В; - Zn5Al + 0,5 % Ni: -0,550 В. Тағйири потенциал ба $\sim 0,39$ В аз афзоиши назарраси муқовимати коррозияи он шаҳодат медиҳад. Дар маҳлули 3% NaCl: - Zn5Al: -1,064 В; - Zn5Al + 0,5 % Ni: -0,692 В. Афзоиши концентратсияи ионҳои хлорид маҳлули анодиро шиддат медиҳад ва боиси ба минтақаи манфӣ кӯчидани потенциал мегардад.

3. *Таъсири никел ба хӯлаи Zn55Al.* Дар маҳлули 0,03% NaCl: - Zn55Al: -0,880 В; Zn55Al + 0,5 % Ni: -0,742 В. Дар маҳлули 3% NaCl: - Zn55Al: -1,022 В; Zn55Al + 0,5 % Ni: -1,000 В. Таъсири ҷавҳарикунонӣ камтар ба назар мерасад, ки бо ҳиссаи баланди алюминий ва ташаккули пардаи устувори оксиди Al_2O_3 (Ҷадвали 2) [3, 4] вобаста аст.

Самараи ҷавҳаронидан камтар акс меёбад, ки бо зиёд будани миқдори алюминий ва ташаккулёбии пардаи мустаҳками оксиди Al_2O_3 алоқамандӣ дорад (Ҷадвали 2) [3, 4].

Механизми таъсири никел. Таъсири мусбати никел иборат аст:

1. Майдадона будани сохти таркибии хӯла;
2. Паст шудани якхела набудани таркиби микрогалвании хӯла;
3. Ба вуҷуд омадани қабати ғарси фазаӣ дар хӯла;

4. Эҳтимоли пайдоиши пайвастиҳои камҳалшаванда дар таркиби пардаи муҳофизатӣ.

Ҳангоми поляризацияи анодӣ манбаи доимии ионҳо дар қабати наздизлектродӣ ба вучуд меояд, дар ин ҳолат никел равандҳои электродро тақсим мекунад ва ионизатсияи фазаи рухро суст мекунад.

Ҷадвали 1 – Вобастагии потенциали (х.с.э.) коррозияи озоди ($-E_{з, озод}$, В) ҳулаи руҳӣ-алюминийи Zn5Al бо никел дар муддати вақт дар муҳити маҳлули NaCl [3, 4]

Table 1 – Dependence of the potential (h.s.e.) of free corrosion ($-E_{free\ corro.}$, V) of zinc-aluminum alloy Zn5Al with nickel on time in an electrolyte environment of NaCl [3, 4]

Муҳити NaCl, %-и вазн	Микдори никел дар хӯла, вазн%	($-E_{з, озод}$, В (х.с.э.)) дар вақти нигоҳдорӣ, дақ.							
		0.3	0.6	2	4	10	20	40	60
0.03	Zn5Al	1.054	1.012	0.998	0.976	0.963	0.952	0.940	0.940
	0.01	0.688	0.667	0.656	0.631	0.607	0.596	0.572	0.570
	0.05	0.676	0.655	0.644	0.618	0.590	0.576	0.562	0.562
	0.1	0.663	0.646	0.634	0.607	0.582	0.568	0.557	0.556
	0.5	0.653	0.634	0.622	0.598	0.576	0.566	0.551	0.550
3.0	Zn5Al	1.170	1.138	1.126	1.109	1.086	1.077	1.066	1.064
	0.01	0.832	0.812	0.800	0.780	0.750	0.736	0.718	0.716
	0.05	0.828	0.805	0.794	0.770	0.744	0.730	0.710	0.710
	0.1	0.811	0.786	0.775	0.755	0.735	0.722	0.702	0.700
	0.5	0.801	0.780	0.769	0.746	0.720	0.708	0.692	0.692

Ҷадвали 2 – Вобастагии потенциали (х. с. э.) коррозияи озоди ($-E_{з, озод}$, В) ҳулаи руҳӣ-алюминийи Zn55Al бо никел дар муддати вақт дар муҳити маҳлули NaCl [3, 4]

Table 2 – Dependence of the potential (h.s.e.) of free corrosion ($-E_{free\ corro.}$, V) of zinc-aluminum alloy Zn55Al with nickel on time in an electrolyte environment of NaCl [3, 4]

Муҳити NaCl, %- и вазн	Микдори никел дар хӯла, %-и вазн	($-E_{з, озод}$, В (х.с.э.)) дар вақти нигоҳдорӣ, дақиқа							
		0.3	0.6	2	4	10	20	40	60
0.03	Zn55Al	0.959	0.933	0.926	0.910	0.894	0.887	0.882	0.880
	0.01	0.867	0.851	0.844	0.829	0.810	0.794	0.770	0.770
	0.05	0.860	0.846	0.838	0.824	0.804	0.788	0.760	0.758
	0.1	0.846	0.832	0.826	0.813	0.798	0.782	0.752	0.750
	0.5	0.837	0.820	0.814	0.800	0.785	0.770	0.744	0.742
3.0	Zn55Al	1.208	1.174	1.136	1.108	1.067	1.052	1.024	1.022
	0.01	1.093	1.072	1.061	1.042	1.030	1.026	1.020	1.018
	0.05	1.090	1.070	1.059	1.039	1.026	1.021	1.015	1.015
	0.1	1.088	1.062	1.054	1.036	1.023	1.018	1.010	1.008
	0.5	1.080	1.056	1.048	1.032	1.020	1.015	1.003	1.000

Муҳокима (Discussions)

Динамикаи тағйирёбии потенциали коррозияи озод дар муддати вақт (Ҷадвалҳои 1 ва 2) як қонуниятро доимиро барои ҳамаи ҳулаҳои омӯхташуда нишон медиҳад: дар дақиқаҳои аввал пас аз ғўтондан дар маҳлули NaCl, тағйирёбии босуръати потенциал ба самти минтақаи мусбат мушоҳида

мешавад ва то 40-50 дақиқа бузургиро муътадил мегарданд. Чунин кинетика барои равандҳои пасиватсия хос аст ва бо ташаккули пардаи оксиди муҳофизатӣ дар сатҳи ҳӯла алоқаманд мебошад. Тағйирёбии ибтидоии потенциал гузаришро аз сатҳи метали нав коркардшуда ба ҳолати қисман бо маҳсулҳои оксидшавии муҳофизатшуда инъикос мекунад. Муътадил гардидани бузургиро то дақиқаи 60-ум муқаррар шудани мувозинати динамикиро миёни равандҳои ҳалшавии металл ва афзоиши/барқароршавии қабати пасивӣ нишон медиҳад. Ин мувофиқ будани давомнокии таъсирро барои муайян кардани арзиши потенциали ҳолати устувор асоснок мекунад.

Таъсири иловаҳои никел ба рафтори зангзанӣ-электрохимиявии ҳӯлаҳои $Zn5Al$ ва $Zn55Al$ нобаробар аст ва ҳам аз ҷониби концентратсияи элементи ҷавҳарӣ ва ҷӣ аз ҷониби агрессивӣ будани муҳит муайян карда мешавад. Дар маҳлули $NaCl$ -и омодашуда (0.03 %-и вазн), ворид намудани 0.5 %-и вазн никел боиси тағйироти мусбати намоён дар потенциали коррозияи озод мегардад. Барои ҳӯлаи $Zn5Al$, потенциал аз -0.940 В то -0.550 В (тағйирӣ ~ 0.39 В) тағйир меёбад, ки ин нишонаи афзоиши назарраси устувории термодинамикӣ ва коҳиши майл доштан ба вайроншавии зидди зангзанӣ мебошад. Барои $Zn55Al$, таъсир камтар намоён аст: потенциал аз -0.880 В то -0.742 В тағйир меёбад. Беҳбудии назарраси хусусиятҳои $Zn5Al$ аз сабаби қобилияти нисбатан пастии пасиватсияи ибтидоӣ дар муқоиса бо $Zn55Al$ мебошад. Дар ҳӯлаи $Zn55Al$, миқдори баланди алюминий ба ташаккули пардаи устувори оксиди Al_2O_3 мусоидат мекунад, ки худ бо худ дараҷаи назарраси муҳофизатиро таъмин менамояд. Дар ин шароит, саҳми иловаи никел маҳдуд аст - қабати оксиди алюминийӣ ғайрифавол омили бартаридошта дар муқовимат ба зангзанӣ боқӣ мемонад.

Афзоиши концентратсияи хлоридҳо то 3,0 %-и вазн агрессивии муҳитро зиёд мекунад ва ба ҷойивазкунии потенциалҳо ба минтақаи манфӣ оварда мерасонад, ки аз фаволшавии ҳалшавии анодӣ ва депассиватсияи қисман сатҳӣ шаҳодат медиҳад. Барои $Zn5Al$, потенциали ҳӯлаи асосӣ аз -0.940 В (дар 0,03% вазн $NaCl$) то -1.064 В ва барои варианти дорои 0,5 %-и вазн никел то -0.692 В коҳиш меёбад. Тамоқули монанд барои $Zn55Al$ мушоҳида мешавад: потенциали ҳӯлаи ибтидоӣ то -1.022 В ва барои ҳӯлаи дорои 0,5 %-и вазн никел то -1.000 В коҳиш меёбад. Афзоиши концентратсияи ионҳои хлорид ба нобудшавии пардаҳои муҳофизатӣ, фаволшавии равандҳои коррозияи маҳаллӣ ва афзоиши суръати ҳалшавии фазаи руҳ мусоидат мекунанд. Ғайр аз ин, ҳатто дар муҳити агрессивӣ, никел таъсири мусбатро нигоҳ медорад, гарчанде ҷойивазкунии мутлақӣ потенциал як миқдор дар муқоиса бо маҳлули обшуда камтар аст.

Таҳлили маълумот барои концентратсияҳои гуногуни никел (0.01-0.5 %-и вазн) нишон медиҳад, ки самараи афзоиши ба коррозияи тобоварӣ ҳатто ҳангоми илова кардани миқдори камтарини никел зоҳир мегардад ва бо зиёд шудани миқдори никел меафзояд. Аммо, афзоиши тағйироти мусбати потенциал ҳангоми гузаштан аз 0.1 то 0.5 %-и вазн тадриҷан кам мешавад, ки ин сершавии таъсири тағйирӣ сохти таркибиро нишон медиҳад. Ин аз сершавии самараи ҷавҳаронии сохти таркибӣ ва ташаккулёбии ҳолати муътадили сохти таркибӣ аллакай ҳангоми миқдорҳои ночизи никел нишон медиҳад. Афзоиши минбаъдаи миқдори никел ба беҳтаршавии мутаносибонаи тавсифҳои электрохимиявӣ намеоварад, ки муҳим аст ҳангоми коркарди таркибҳои ҳӯлаҳо аз нуқтаи назари иқтисодӣ ва технологӣ мувофиқи мақсад будан ба назар гирифта шавад.

Самараҳои мушоҳидашуда бо механизми пешниҳодшудаи амали никел мувофиқанд. Аввалан, никел ба майдадона кардани сохти таркибии ҳӯла мусоидат мекунад, таносуби сарҳадҳои байнидончаҳоро зиёд мекунад ва тақсимои якхелаи фазаро таъмин мекунад. Дуюм, гуногунтаркибии микрогалвании ҳӯларо коҳиш медиҳад: никел фарқи потенциалҳоро байни ташкилдиҳандаҳои сохти таркибии алоҳида паст мекунад, ва бо ҳамин ҷуфтҳои галвании маҳаллиро, ки барои коррозияи суръатбахш масъуланд, паҳш мекунад. Сеюм, дар ҳӯла қабатҳои зичи фазавӣ ташаккул меёбанд, ки метавонанд ҳамчун монеаҳо барои диффузияи ионҳои агрессивӣ амал намоянд. Чорум, имконияти ташаккулёбии пайвастагиҳои камҳалшаванда метавонанд дар дохили пардаи муҳофизатӣ ташаккул ёбанд, ки устуворӣ ва часпиши онро ба зерғузур зиёд мекунанд. Ҳангоми поляризатсияи анодӣ, никел барилова равандҳои электродиро ҷудо мекунад ва ионизатсияи фазаи руҳро суст мекунад ва суръати ҳалшавии анодиро маҳдуд менамояд.

Ҳамин тариқ, дохил намудани миқдорҳои камтарини никел бо самар муқовимат ба коррозияи ҳӯлаҳои руҳӣ-алюминийро баланд мекунад, илова бар ин самаранокии балонтарин дар ҳӯлаҳо бо миқдори нисбатан камтарини алюминий ($Zn5Al$) ба даст меояд. Дар ҳӯлаҳо бо миқдори зиёди

алюминий (Zn55Al), сахми мусбати никел аз сабаби таъсири бартаридоштаи пардаи оксидии муҳофизатии Al_2O_3 камтар ба назар мерасад. Натиҷаҳои бадастомада имконияти истифодаи никелро ҳамчун иловаи ҷавҳарикунанда барои беҳтар кардани самаранокии рӯйпӯшҳои руҳӣ-алюминий дар муҳитҳои хлоридӣ, аз ҷумла шароитҳои, ки коррозияи баҳрӣ ва атмосферӣ тақдид мекунанд, тасдиқ мекунанд.

Хулоса (Conclusions)

1. Иловаҳои никел (0,01- 0,5 %-и вазн) потенциали коррозияи озоди хӯлаи Zn5Al ва Zn55Al-ро ба минтақаи мусбат мекуҷонанд.
2. Таъсири бештар барои хӯлаи Zn5Al дар маҳлули 0,03% NaCl мушоҳида карда мешавад.
3. Баланд шудани концентратсияи NaCl то 3% суръати коррозияро зиёд карда потенциали коррозияи озодро ба тарафи манфӣ мекуҷонад.
4. Муътадилгардии потенциал пас аз 40-50 дақиқаи ғарқ кунонидани хӯлаҳо дар маҳлули NaCl ба амал меояд.
5. Ҷавҳаронидан бо никел ба ташаккули қабати муҳофизатии устувортар ва баланд бардоштани муқовимати коррозияи хӯлаҳо мусоидат мекунад.

Муқарриз: Маҳмадизода М.М.- д.и.т., профессор, сардори раёсати таълим, филиали Донишгоҳи миллии тадқиқотӣ ва таҳсилоти миёнаи олӣ, Ҷумҳурии Тоҷикистон, Душанбе.

Адабиёт

1. Ганиев, И.Н. Влияние добавок никеля на анодное поведение цинково-алюминиевых сплавов Zn5Al, Zn55Al в среде электролита NaCl / И.Н. Ганиев, Дж.Н. Алиев, З.Ф. Нарзуллоев // Журнал прикладной химии. – 2019. – Т. 92, № 11. – С. 1420–1426.
2. Ахмедов, М.А. Электрохимическое поведение диметилсульфона на платиновом электроде / М.А. Ахмедов, Ш.Ш. Хидиров, С.И. Сулейманов // Электрохимия. – 2023. – Т. 59, № 11. – С. 674–685. – DOI: 10.31857/S0424857023110038.
3. Алиев, Д.Н. Влияние добавок железа и никеля на твердость сплавов Zn5Al и Zn55Al / Д.Н. Алиев, И.Н. Ганиев, З.Ф. Нарзуллоев // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2018. – № 1 (41). – С. 86–92. – EDN: XSBZAL.
4. Гельман, Д. Снижение коррозии алюминия в щелочных электролитах, содержащих гибридную систему неорганических/органических ингибиторов для источников питания / Д. Гельман, И. Ласман, С. Елфимчев, Д. Старосветский, Я. Эй-Эли // Journal of Power Sources. – 2015. – Т. 285. – С. 100.
5. Чан, С. Коррозионное и анодное поведение чистого алюминия в новом щелочном электролите / С. Чан, Дж. Ван, Х. Шао, Дж. Ван, С. Цзэн, Дж. Чжан, Ц. Цао // Acta Physico-Chimica Sinica. – 2008. – Т. 24, № 9. – С. 1620.
6. Ван, Дж.Б. Коррозионное и электрохимическое поведение чистого алюминия в щелочных растворах метанола / Дж.Б. Ван, Дж.М. Ван, Х.Б. Шао, Дж.Ц. Чжан, Ц.Н. Цао // Journal of Applied Electrochemistry. – 2007. – Т. 37. – С. 753.
7. Дамаскин, Б.Б. Электрохимия / Б.Б. Дамаскин, О.А. Петрий. – 3-е изд., испр. – СПб.: Лань, 2015. – 672 с.
8. Липин, В.А. Физическая химия. Электрохимия: учебное пособие / В.А. Липин, А.И. Смирнова, Т.А. Сустанов. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2020. – 94 с.
9. Козадеров, О.А. Современные химические источники тока / О.А. Козадеров, А.В. Введенский. – СПб.: Лань, 2025. – 131 с.
10. Морачевский, А.Г. Электрохимия расплавленных солей / А.Г. Морачевский, Е.Г. Фирсова. – СПб.: Лань, 2023. – 384 с.
11. Абраменков, А.В. Практикум по физической химии: кинетика и катализ. Электрохимия / А.В. Абраменков. – М.: Академия, 2012. – 768 с.
12. Справочник по электрохимии / Р.К. Астахова, А.А. Белюстин, В.В. Беренблит и др.; под ред. А.М. Сухотина. – Л.: Химия, 1981. – 488 с.

Reference

1. Ganiev, I.N. Effect of Nickel Additions on the Anodic Behavior of Zinc-Aluminum Alloys Zn5Al and Zn55Al in NaCl Electrolyte / I.N. Ganiev, J.N. Aliev, Z.F. Narzulloev // Russian Journal of Applied Chemistry. – 2019. – Vol. 92, No. 11. – P. 1420–1426.
2. Akhmedov, M.A. Electrochemical Behavior of Dimethyl Sulfone on a Platinum Electrode / M.A. Akhmedov, Sh.Sh. Khidirov, S.I. Suleymanov // Russian Journal of Electrochemistry. – 2023. – Vol. 59, No. 11. – P. 674–685. – DOI: 10.31857/S0424857023110038.

3. Aliev, D.N. Effect of Iron and Nickel Additions on the Hardness of Zn5Al and Zn55Al Alloys / D.N. Aliev, I.N. Ganiev, Z.F. Narzullov // Polytechnic Bulletin. Series: Engineering Research. – 2018. – No. 1 (41). – P. 86–92. – EDN: XSBZAL.
4. Gelman, D. Corrosion Reduction of Aluminum in Alkaline Electrolytes Containing a Hybrid Inorganic/Organic Inhibitor System for Power Sources / D. Gelman, I. Lasman, S. Elfimchev, D. Starosvetsky, Y. Ein-Eli // Journal of Power Sources. – 2015. – Vol. 285. – P. 100.
5. Chan, S. Corrosion and Anodic Behavior of Pure Aluminum in a New Alkaline Electrolyte / S. Chan, J. Wang, H. Shao, J. Wang, S. Zeng, J. Zhang, C. Cao // Acta Physico-Chimica Sinica. – 2008. – Vol. 24, No. 9. – P. 1620.
6. Wang, J.B. Corrosion and Electrochemical Behavior of Pure Aluminum in Alkaline Methanol Solutions / J.B. Wang, J.M. Wang, H.B. Shao, J.C. Zhang, C.N. Cao // Journal of Applied Electrochemistry. – 2007. – Vol. 37. – P. 753.
7. Damaskin, B.B. Electrochemistry / B.B. Damaskin, O.A. Petriy. – 3rd ed., rev. – Saint Petersburg: Lan, 2015. – 672 p.
8. Lipin, V.A. Physical Chemistry. Electrochemistry: Study Guide / V.A. Lipin, A.I. Smirnova, T.A. Sustavova. – Saint Petersburg: Higher School of Technology and Energy, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, 2020. – 94 p.
9. Kozaderov, O.A. Modern Chemical Power Sources / O.A. Kozaderov, A.V. Vvedensky. – Saint Petersburg: Lan, 2025. – 131 p.
10. Morachevsky, A.G. Electrochemistry of Molten Salts / A.G. Morachevsky, E.G. Firsova. – Saint Petersburg: Lan, 2023. – 384 p.
11. Abramnikov, A.V. Practical Course in Physical Chemistry: Kinetics and Catalysis. Electrochemistry / A.V. Abramnikov. – Moscow: Akademiya, 2012. – 768 p.
12. Handbook of Electrochemistry / R.K. Astakhova, A.A. Belyustin, V.V. Berenblit et al.; ed. by A.M. Sukhotin. – Leningrad: Khimiya, 1981. – 488 p.

Маълумот оид ба муаллифон:

Нарзуллоев Зубайдулло Файзуллоевич, номзади илмҳои техникӣ, муаллими калони кафедраи нақшакашии муҳандисӣ ва компютерӣ, Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5091-3578>. Email: zubaydullonarzulloev6@gmail.com

Алиев Чамшед Насридинович, номзади илмҳои техникӣ, дотсенти кафедраи масолеҳшиносӣ, мошинҳо ва таҷҳизотҳои меаллургӣ, Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ. ORCID: Id <https://orcid.org/0000-0001-7307-0059>. E-mail: jamshedalie0672@gmail.com

Ганиев Изатулло Наврузович, доктори илмҳои химия, профессори кафедраи технологияи истеҳсоли химиявӣ, Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ. ORCID Id <https://orcid.org/0000-0002-2791-6508>. E-mail: ganiev48@mail.ru

Сведения об авторах:

Нарзуллоев Зубайдулло Файзуллоевич, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры инженерной и компьютерной графики, Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2434-4698>. E-mail: zubaydullonarzulloev6@gmail.com

Алиев Джамшед Насридинович, кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения, металлургические машины и оборудование, Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими. ORCID: Id <https://orcid.org/0000-0001-7307-0059>. E-mail: jamshedalie0672@gmail.com

Ганиев Изатулло Наврузович, доктор химических наук, профессор кафедры технологии химического производства, Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими. ORCID Id <https://orcid.org/0000-0002-2791-6508>. E-mail: ganiev48@mail.ru

Information about the authors:

Narzulloev Zubaydullo Fayzulloevich, PhD in Engineering, Senior Lecturer, Department of Engineering and Computer Graphics, Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2434-4698>. E-mail: zubaydullonarzulloev6@gmail.com

Aliev Jamshed Nasridinovich, PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Materials Science, Metallurgical Machines and Equipment, Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi. ORCID: ID <https://orcid.org/0000-0001-7307-0059>. E-mail: jamshedalie0672@gmail.com

Ganiev Izatullo Navruzovich, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Department of Chemical Production Technology, Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi. ORCID: ID <https://orcid.org/0000-0002-2791-6508>. E-mail: ganiev48@mail.ru