

ӘОЖ 66.040.22/25.

МРНТИ 61.31.59

DOI 10.56525/ZFHE1783

ТЕРМОӨНДЕУ НЕГІЗІНДЕ БОЛАТ БҰЙЫМДАРДЫ НИКЕЛЬДЕУ ПРОЦЕСІН ЖАҢАРТУ

Сатаева С. С.*, Амангельдиев М. Ж.

Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті,

Орал, Қазақстан

e-mail: sataeva_safura@mail.ru

Аңдатпа. Дүниежүзілік өнеркәсіптің қарқынды дамуы жағдайында болат коррозиясының қоршаған орта ресурстарына және экономикалық дамуға тигізетін кері әсерін бағаламауға болмайды. Оттегі коррозиясы және сутегі эволюциясы коррозиясы болаттағы екі маңызды реакция болып табылады. Болаттың коррозиясын болдырмау үшін көптеген каталитикалық материалдар әзірленді. Атап айтқанда, кейбір никель негізіндегі материалдар басқарылатын құрылымымен, өнімділігімен, қоршаған ортаны қорғаумен және басқа да артықшылықтарымен болаттың коррозияға төзімділігін айтарлықтай жақсарты алады. Никелді жабынмен қапталған күйдегі екі үлгінің де рентгендік дифракциялық талдауы аморфты фазаны көрсетеді, ал термиялық өндеуден өткен жабындар кристалдық фазалық құрылымға ие. Кристалды құрылым тозуға төзімділігімен қатар жабынның қаттылығын арттырады. Үйкеліс пен тозу дискідегі трибометр көмегімен бағаланады. Жалпы алғанда, Ni металымен қапталған жабындылар үйкеліс пен тозу бойынша басқа электролизденген бұйымдармен салыстырғанда жақсырақ жұмыс істейтінін көруге болады.

Бұл зерттеудің мақсаты химиялық тотықсыздандыру әдісімен өндірілген Ni жабындыларын термоөндеу арқылы болат бұйымдардың функциясын-жақсарту болып табылады. Қапталған үлгілер 2 сағат бойы термиялық өндеу температураларының сериясына (200-800°C) ұшырайды. Қапталған үлгілердің қаттылық мәні Vickers микроқаттылықты өлшейтін құрал арқылы өлшенеді. Үйкеліс сипаттамаларын және жабынның тозуға төзімділігін бағалау үшін түйреуіш-дискілі трибометр көмегімен құрғақ сырғанау сынағы жүргізіледі.

Түйін сөздер: термоөндеу, никельдеу, электролиз, болат бұйымдар, химиялық никельдеу, гальваникалық процестер, коррозия.

Кіріспе. Өнеркәсіптің қарқынды дамуымен болат коррозиясы ресурстарды пайдаланудың негізгі проблемаларының біріне айналды. Көміртекті болат өзінің төмен құны мен сенімді өнімділігіне байланысты әлемдегі ең маңызды және кең таралған құрылымдық материалдардың біріне айналды [1]. Дүниежүзілік болат қауымдастығының мәліметі бойынша, 2022 жылы жаһандық шикі болат өндірісі 1,885 миллиард тоннаны құрайды. Беріктігі жоғары болатты өнеркәсіпте кеңінен қолданудың энергияны үнемдеу және қоршаған ортаны қорғауды дамыту үшін үлкен маңызы бар [2,3]. Дегенмен, болат физикалық немесе химиялық реакциялар кезінде коррозияға ұшырайды [4,5]. Болат коррозиясы жабдық функцияларының нашарлауына және істен шығуына әкеліп қана қоймайды, сонымен қатар қауіпсіздік қаупін тудырады [6]. Болат коррозиясы әлемдік экономиканың дамуына да маңызды әсер етеді [7,8]. Тот металлургиялық өнеркәсіптік инфрақұрылымды бұзып, үлкен шығындарға әкелуі мүмкін [9-11]. Зерттеу есебіне сәйкес, металдың коррозиясынан болатын жаһандық шығындар жылына 2,7 триллион АҚШ долларын құрайды, бұл ЖІӨ-нің шамамен 4,3% құрайды [12]. Сонымен қатар, көміртекті болат көбінесе құбырларды тасымалдау үшін құрылымдық материал ретінде пайдаланылады. Құбыр және қауіпті материалдар қауіпсіздігі басқармасының (PHMSA) дерекқорына сәйкес, болат коррозиясы соңғы 30 жылдағы табиғи газ құбырындағы апаттардың шамамен 25%-ына жауапты [13].

Болат коррозиясы – металл бетінің әртүрлі микро-аймақтарында болатын және әдетте темір тотының коррозиялық қабатының түзілуіне әкелетін өздігінен жүретін тотығу-тотықсыздану процесі [14], [15]. Әртүрлі рН жағдайларындағы реакцияларға сүйене отырып, болат коррозиясын сутегі бөліну коррозиясы және оттегінің бөліну коррозиясы деп бөлуге болады [16]. Механизм суретте көрсетілген. 2. Шын мәнінде, табиғи ортада темірдің оттегі коррозиясы күшті қышқылдық жағдайдағы сутегі коррозиясына қарағанда әлсіз сілтілі және бейтарап электролиттерде жиі кездеседі [17]. Оттегі коррозиясы Cl^- иондарының еніп кететін және пассивациялаушы қасиеттерімен қиындауы мүмкін. Коррозиялық әрекет болаттың маркасына және коррозиялық ортаға байланысты өзгереді. Мысалы, жағалаудағы аудандарда арматуралық болаттың хлоридті коррозиясы ғимараттардың беріктігіне үлкен қауіп төндіруі мүмкін. Бұл коррозия темірбетон конструкцияларының қатты тозуына және конструкцияның бұзылуына әкелуі мүмкін [18].

Металл коррозиясынан болатын зиянды азайту үшін адамдар қаптау, электрохимиялық қорғау және коррозия ингибиторларын қосу сияқты көптеген шараларды қабылдады. Зерттеулер көрсеткендей, зиянды коррозия «пайда жоғалту» әсеріне қол жеткізу үшін қолданылатын электрокатализаторларды дайындау үшін де қолданыла алады [19]. Коррозияға қарсы инженерия тиімді катализаторларды дайындау үшін металл материалдарының өздігінен коррозияға ұшырау реакциясын пайдаланатын перспективалы технология болып табылады. Болат коррозиясы кезінде пайда болған тот қабаты электрохимиялық реакциялар үшін функционалды наноматериал ретінде қызмет ете алады [20]. Соңғы жылдары Ni, Fe, қорытпалар және тот баспайтын болаттан жасалған металдар негізінде озық электрокатализаторларды дайындау үшін коррозияға қарсы техниканы қолдану бойынша көптеген зерттеулер жүргізілді.

Никельмен қаптау – дайындаманы сыртқы ортаның әсерінен қорғайтын никельмен қаптау процесі. Технология екі әдіспен ұсынылған: химиялық және гальваникалық. Әрбір материал никельмен қаптауға жарамайды - ол қорғасын, қалайы немесе кадмийде жұмыс істемейді. Дегенмен, никель болат, мыс, алюминий және титанға қиындықсыз жабысады. Қазіргі заманғы өнеркәсіпте никельді жабын болат қорытпаларынан және түсті металдардан жасалған әртүрлі бөлшектер мен құрылымдық элементтерге кеңінен қолданылады. Никельмен қаптау коррозияға төзімділікті, тозуға қарсылықты, ылғалға төзімділікті және агрессивті химиялық ортаға төзімділікті арттыруға мүмкіндік береді.

Никельмен қапталған бет жоғары қаттылыққа, тотығуға төзімділікке және шағылыстыруға ие болады.

Электрохимиялық никельмен қаптаудың артықшылықтарының арасында сарапшылар мыналарды атап көрсетеді:

- әдістің қарапайымдылығы – осыған байланысты ол ірі өндірістерде және үй шеберханаларында коррозияға қарсы жабындарды жасау үшін кеңінен қолданылады;
- никельмен қаптау қымбат құрал-жабдықтар мен шикізатты қажет етпейтіндіктен экономикалық тиімділік;
- жоғары беріктігі бетті коррозиядан және қоршаған ортаның зақымдаушы әсерінен сенімді қорғауға мүмкіндік беретін қолданылатын жабындардың тамаша сапасы;
- эстетика – никельмен қаптау беттерді тегіс және жылтыр етеді.

Металды никельмен қаптау сенімді, әдемі ғана емес, сонымен қатар күтім жасау өте оңай практикалық жабындарды жасауға мүмкіндік береді - тек жұмсақ шүберекпен бетті мезгіл-мезгіл сүрту керек.

Электрохимиялық никельмен қаптау технологиясының бірқатар кемшіліктері бар:

- өңделген өнімдердің максималды мөлшері никельмен қаптау ваннасының өлшемімен шектеледі;
- технологиялық жабдықтың өлшемдері тұрақты бекітілген бөлшектерді бөлшектемей никельмен қаптауға мүмкіндік бермейді;
- никельді қаптаманың шағын қалыңдығы (40 микроннан аспайды).

Дәстүрлі NiTi қорытпалары әдетте бөлме және дене температурасында аустениттік

фазада болады; дегенмен, бұл олардың қаттылығы мен төмен шаршауға төзімділігіне байланысты жоғары қисық каналдарда қолданылуын шектейді [21]. Термиялық өңдеу NiTi ішкі деформациясын жеңілдетеді және фазалық трансформацияны арттырады, нәтижесінде клиникалық сәйкес температураларда мартенситтік фаза көбейеді, бұл құралдың шаршау күшін (бұралу немесе циклдік шаршау) потенциалды түрде өзгертеді.

NiTi бөлшектері бүкіл матрицада жақсы таралады және екі жасыту температурасын ажыратуға болады. Температура 600 °C шамасында аустениттің R-фазаға және мартенситке екі сатылы трансформациясын көрсетті, ал 600 °C-тан жоғары тікелей мартенситтік трансформация жүреді. Өңдеу алдында термиялық өңдеуді қолдану файлды өңдеу процесіне тән қорытпаның қатаю әсерін азайтуы мүмкін [22]. Бұл NiTi файлдарының әдеттегі NiTi файлдарымен салыстырғанда жоғары икемділік пен шаршауға төзімділігіне әкеледі.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Өнеркәсіптік қолдануда кеңінен қолданылатын термиялық өңдеу электроплатылған никельдің қаттылығын арттырады. Бөлшектердің бетіне адгезиясы бойынша никель-фосфор шөгінділері электролиттік шөгінділерден айтарлықтай алда. Қабат қалыңдығын шамамен 10% дәлдікпен реттеуге болады.

Болат бөлшектерін никельмен қаптау кезінде металды шынықтыру температурасына дейін қыздыруға қатаң тыйым салынатынын есте ұстаған жөн - бұл дайындама материалының жарылуына және зақымдалуына әкелуі мүмкін. Никельмен қаптау процесінің өзі стандартты болып табылады. Сымға ілінген өнімдер жұмыс сұйықтығы бар ыдысқа салынғаннан кейін, соңғысы қажетті температураға дейін қызады (шынылау температурасынан аспайды және +350 °C жоғары емес). Ұсынылған ұстау уақыты 60 минуттан 120 минутқа дейін (температура неғұрлым жоғары болса, ұстау уақыты соғұрлым қысқа болады). Содан кейін өңдеуді сол схемаға сәйкес қайталау керек.

Қалыптасқан жабындардың жоғары қорғаныс сипаттамалары мен минималды кеуектілігіне байланысты химиялық никельмен қаптау жұмысы +700 °C жететін температурада өте қызған ауамен және су буымен байланыста болатын бөліктер үшін қолданылады. Заманауи технологиялар тұндыру жылдамдығына 25 микрон/сағ жетуге мүмкіндік береді.

Меншікті өнімділік жұмыс ерітіндісінің құрамымен анықталады. Емдеу статикалық немесе ағынды сұйықтықтарға батыру арқылы жүзеге асырылуы мүмкін:

- Бірінші жағдайда химиялық төзімді пластиктен жасалған ауыстырылатын қақпақтары бар ыдыстар қолданылады.

- Екіншісінде тұйық технологиялық циклді қолдану арқылы ерітіндідегі компоненттердің тұрақты концентрациясы қамтамасыз етіледі.

Никельмен қаптау процесін ерітінді температурасын +500 °C дейін арттыру арқылы жеделдетуге болады. Дегенмен, мұндай қыздыру кезінде өңделетін бетінде сары-қызыл немесе күлгін дақтардың пайда болу қаупі бар, оларды жою өте қиын, сондықтан тәжірибелі шеберлер шамадан тыс қыздырудан аулақ болуға тырысады. Қорғаныс никель қабатын қолданғаннан кейін өнімді минералды машина майымен өңдеу керек:

- минералды майы бар ыдысты отқа қыздырып, оның температурасын +250 градус Цельсийге дейін жеткізіңіз;

- дайындаманы электролит ерітіндісі бар ыдыстан алыңыз және оны дереу майға батырыңыз;

- 60 минут күткеннен кейін дайындаманы минералды майы бар ыдыстан алыңыз, жылы сумен шайыңыз және майсыздандырыңыз.

Зерттеу нәтижелері

Никельді жабындарды термиялық өңдеудің маңызды критерийі олар қолданылатын материал болып табылады, сондықтан мыс пен оның қорытпаларын термиялық өңдеу түрлерін қарастырған жөн және жабынның термиялық өңдеуі қатты әсер етпейтінін ескеру керек. Сондай-ақ, никель жабын ретінде термиялық өңдеу кезінде күйіп кетуі мүмкін, сондықтан дұрыс қыздыру және салқындату режимдерін таңдау маңызды. 1-кестеде никель

жабыны үшін жабын қаттылығының термиялық өңдеу температурасына тәуелділігі көрсетілген.

Кесте 1. Қаптаманың қаттылығының термиялық өңдеу температурасына тәуелділігі

Температура, °С	Твердость, МПа
200	4500-6000
300	6500-7500
400	7500-9000
600	4500-6500
800	3000-3500
1200	2000-2500

Өңделетін бөлшектер жабынға тозуға төзімділік беру және оның қаттылығын арттыру қажет болғанда термиялық өңдеуге ұшырайды. Жоғары температураның әсерінен никель-фосфор тұнбасы түзіліп, жаңа химиялық қосылыс пайда болады, бұл қорғаныс жабынының қаттырақ және берік болуына әкеледі.

Электрсіз никельмен қаптау әдісі кез келген конфигурациядағы беттерді никель қабатымен жабу үшін қолданылады. Химиялық төмендетілген никель қабаты жоғары қаттылықпен, коррозияға төзімділігімен және тозуға төзімділігімен сипатталады - баға жетпес өнімділік қасиеттері, сонымен қатар термиялық өңдеу арқылы айтарлықтай оңтайландыруға болады (химиялық тұндырылған никельдің қаттылығы температураға дейін қыздырғаннан кейін 8000 МПа дейін артады). 400 °С және осы режимде 10-15 минутқа дейін ұстау). Сонымен қатар, негізгі бетке адгезияның күші де айтарлықтай артады.

Химиялық қолданылатын никель жабындарының сөзсіз артықшылығы өнімнің геометриялық конфигурациясына қарамастан олардың біркелкі қалыңдығы болып табылады. Химиялық никельмен қаптау әдісінің тағы бір маңызды артықшылығы – қажетті қалыңдықтағы жабындарды жасауға мүмкіндік беретін қабаттың шөгудің үздіксіздігі. Дегенмен, бұл қасиеттер электр тогын пайдаланбай, химиялық қалпына келтіру әдісін қолдана отырып, металл жабындарын қолданудың барлық процестеріне бірдей тән.

Қорытынды

Материалдың оңтайлы өнімділігіне қол жеткізу үшін арнайы термиялық өңдеу режимдерін қолдану және никель жабынымен қаптау арқылы болат бөлшектердің механикалық қасиеттерін арттыру мақсатында болат бөлшектерін термиялық өңдеумен никельдеу процесін қалпына келтіру бірнеше факторларға байланысты өзекті болып табылады: Термиялық өңдеу арқылы болаттың беріктігі, қаттылығы, тозуға төзімділігі және т.б. сияқты механикалық қасиеттерін айтарлықтай жақсарту алады. Никель коррозияға қарсы тамаша қасиеттерге ие, бұл болат бөлшектеріндегі қорғаныс жабындарында, әсіресе жоғары ылғалдылық немесе агрессивті орта жағдайында қолдануға тартымды етеді. Термиялық өңдеу мен никельмен қаптаудың заманауи әдістері үнемі жетілдіріліп отырады, бұл процесте жоғары тиімділік пен дәлдікке қол жеткізуге мүмкіндік береді. Экологиялық стандарттар мен қауіпсіздік талаптарын ескере отырып, никельмен қаптау процестерін дамыту қазіргі заманғы индустриядағы маңызды бағыт болып табылады.

Болат бөлшектерін термиялық өңдеумен никельмен қаптау процесін қалпына келтіру саласындағы зерттеулер мен әзірлемелер өнеркәсіп пен ғылыми қауымдастық үшін негізгі мәселе болып табылады. Никельмен қаптаудың жаңа әдістері басқа материалдарды өңдеу технологияларымен сәтті біріктірілуі мүмкін. Қазіргі өнеркәсіпте екпін экологиялық таза технологияға ауысуда. Болат бөлшектерін никельмен қаптаудың жаңа әдістері қауіпті химиялық заттарды пайдалануды азайтуға және қоршаған ортаға теріс әсерді азайтуға бағытталған.

ӘДЕБИЕТТЕР

1. T.S. Khan, M.S. Khan, M.-C. Chyu, Z.H. Ayub, Experimental investigation of single-phase convective heat transfer coefficient in a corrugated plate heat exchanger for multiple plate configurations, *Appl. Therm. Eng.* 30 (8) (2010) 1058–1065, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2010.01.021>.
2. W.W. Focke, J. Zachariades, I. Olivier, The effect of the corrugation inclination angle on the thermohydraulic performance of plate heat exchangers, *Int. J. Heat Mass Tran.* 28 (8) (1985) 1469–1479, [https://doi.org/10.1016/0017-9310\(85\)90249-2](https://doi.org/10.1016/0017-9310(85)90249-2).
3. W.W. Focke, Turbulent convective transfer in plate heat exchangers, *Int. Commun. Heat Mass Tran.* 10 (3) (1983) 201–210, [https://doi.org/10.1016/0735-1933\(83\)90005-2](https://doi.org/10.1016/0735-1933(83)90005-2).
4. C. Gulenoglu, F. Akturk, S. Aradag, N. Sezer Uzol, S. Kakac, Experimental comparison of performances of three different plates for gasketed plate heat exchangers, *Int. J. Therm. Sci.* 75 (2014) 249–256, <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2013.06.012>.
5. M. Faizal, M.R. Ahmed, Experimental studies on a corrugated plate heat exchanger for small temperature difference applications, *Exp. Therm. Fluid Sci.* 36 (2012) 242–248, <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2011.09.019>.
6. I. Gherasim, M. Taws, N. Galanis, C.T. Nguyen, Heat transfer and fluid flow in a plate heat exchanger part I. Experimental investigation, *Int. J. Therm. Sci.* 50 (8) (2011) 1492–1498, <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2011.03.018>.
7. K. Nilpueng, S. Wongwises, Experimental study of single-phase heat transfer and pressure drop inside a plate heat exchanger with a rough surface, *Exp. Therm. Fluid Sci.* 68 (2015) 268–275, <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2015.04.009>.
8. D. Yu, G. Kang, T. Weicheng, L. Lin, W. Wang, Preparation of conductive silk fabric with antibacterial properties by electroless silver plating, *Appl. Surf. Sci.* 357 (2015), <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.09.074>.
9. D.H. Nguyen, K.M. Kim, G.H. Shim, J.H. Kim, C.H. Lee, S.T. Lim, H.S. Ahn, Experimental study on the thermal-hydraulic performance of modified chevron plate heat exchanger by electrochemical etching method, *Int. J. Heat Mass Tran.* 155 (2020) 119857, <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.119857>.
10. J. Fernandez-Seara, F.J. Uhía, J. Sieres, A. Campo, A general review of the Wilson plot method and its modifications to determine convection coefficients in heat exchange devices, *Appl. Therm. Eng.* 27 (17) (2007) 2745–2757, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2007.04.004>.
11. J. Yang, A. Jacobi, W. Liu, Heat transfer correlations for single-phase flow in plate heat exchangers based on experimental data, *Appl. Therm. Eng.* 113 (2017) 1547–1557, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.10.147>.
12. A.S. Hujumdar, Heat transfer equipment design, *Dry. Technol.* 7 (4) (1989) 841–842, <https://doi.org/10.1080/07373938908916636>.
13. K. Okada, M. Ono, T. Tomimura, T. Okuma, H. Konno, S. Ohtani, Design and heat transfer characteristics of new plate heat exchanger, *Heat Tran. Jpn. Res.* 1 (1) (1972) 90–95.
14. B. Thonon, R. Vidil, C. Marvillet, Recent research and developments in plate heat exchangers, *J. Enhanc. Heat Transf* 2 (1-2) (1995) 149–155.
15. W. Shang, X. Zhan, Y. Wen, Y. Li, Z. Zhang, F. Wu, C. Wang, Deposition mechanism of electroless nickel plating of composite coatings on magnesium alloy, *Chem. Eng. Sci.* 207 (2019) 1299–1308, <https://doi.org/10.1016/j.ces.2019.07.048>.
16. I. Ayoub, Study of electroless Ni-P plating on stainless steel, *Online J. Math. Stat.* 41 (2009).
17. M. Buchtík, M. Krystynova, J. M'asilko, J. Wasserbauer, The effect of heat treatment on properties of Ni–P coatings deposited on a AZ91 magnesium alloy, *Coatings* 9 (2019) 461, <https://doi.org/10.3390/coatings9070461>.

18. H. Guo, Y. Tang, Effect of aluminum coating on corrosion and heat transfer performance of magnetic refrigerant gadolinium, *J. Wuhan Univ. Technol.-Materials Sci. Ed.* 34 (4) (2019) 914–918, <https://doi.org/10.1007/s11595-019-2137-4>.
19. J. Li, J. Liang, Y. Liu, High-thermal conductive coating used on metal heat exchanger, *Chin. J. Chem. Eng.* 22 (5) (2014) 596–601, [https://doi.org/10.1016/S1004-9541\(14\)60068-9](https://doi.org/10.1016/S1004-9541(14)60068-9).
20. R. Singh, Predictions of Effective Thermal Conductivity of Complex Materials, 2010, pp. 235–273. [33] S. Kandlikar, D. Schmitt, A. Carrano, J. Taylor, Characterization of surface roughness effects on pressure drop in single-phase flow in minichannels, *Phys. Fluids* 17 (2005), <https://doi.org/10.1063/1.1896985>.
21. R.S. Abiev, Effect of contact-angle hysteresis on the pressure drop under slug flow conditions in minichannels and microchannels, *Theor. Found. Chem. Eng.* 49 (4) (2015) 414–421, <https://doi.org/10.1134/S0040579515040223>.
22. J. Zhang, X. Zhu, M.E. Mondejar, F. Haglind, A review of heat transfer enhancement techniques in plate heat exchangers, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 101 (2019) 305–328, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.017>.

ӘДЕБИЕТТЕР

1. T.S. Khan, M.S. Khan, M.-C. Chyu, Z.H. Ayub, Experimental investigation of single-phase convective heat transfer coefficient in a corrugated plate heat exchanger for multiple plate configurations, *Appl. Therm. Eng.* 30 (8) (2010) 1058–1065, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2010.01.021>.
2. W.W. Focke, J. Zachariades, I. Olivier, The effect of the corrugation inclination angle on the thermohydraulic performance of plate heat exchangers, *Int. J. Heat Mass Tran.* 28 (8) (1985) 1469–1479, [https://doi.org/10.1016/0017-9310\(85\)90249-2](https://doi.org/10.1016/0017-9310(85)90249-2).
3. W.W. Focke, Turbulent convective transfer in plate heat exchangers, *Int. Commun. Heat Mass Tran.* 10 (3) (1983) 201–210, [https://doi.org/10.1016/0735-1933\(83\)90005-2](https://doi.org/10.1016/0735-1933(83)90005-2).
4. C. Gulenoglu, F. Akturk, S. Aradag, N. Sezer Uzol, S. Kakac, Experimental comparison of performances of three different plates for gasketed plate heat exchangers, *Int. J. Therm. Sci.* 75 (2014) 249–256, <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2013.06.012>.
5. M. Faizal, M.R. Ahmed, Experimental studies on a corrugated plate heat exchanger for small temperature difference applications, *Exp. Therm. Fluid Sci.* 36 (2012) 242–248, <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2011.09.019>.
6. Gherasim, M. Taws, N. Galanis, C.T. Nguyen, Heat transfer and fluid flow in a plate heat exchanger part I. Experimental investigation, *Int. J. Therm. Sci.* 50 (8) (2011) 1492–1498, <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2011.03.018>.
7. K. Nilpueng, S. Wongwises, Experimental study of single-phase heat transfer and pressure drop inside a plate heat exchanger with a rough surface, *Exp. Therm. Fluid Sci.* 68 (2015) 268–275, <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2015.04.009>.
8. D. Yu, G. Kang, T. Weicheng, L. Lin, W. Wang, Preparation of conductive silk fabric with antibacterial properties by electroless silver plating, *Appl. Surf. Sci.* 357 (2015), <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.09.074>.
9. D.H. Nguyen, K.M. Kim, G.H. Shim, J.H. Kim, C.H. Lee, S.T. Lim, H.S. Ahn, Experimental study on the thermal-hydraulic performance of modified chevron plate heat exchanger by electrochemical etching method, *Int. J. Heat Mass Tran.* 155 (2020) 119857, <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.119857>.
10. J. Fernandez-Seara, F.J. Uhía, J. Sieres, A. Campo, A general review of the Wilson plot method and its modifications to determine convection coefficients in heat exchange devices, *Appl. Therm. Eng.* 27 (17) (2007) 2745–2757, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2007.04.004>.
11. J. Yang, A. Jacobi, W. Liu, Heat transfer correlations for single-phase flow in plate heat exchangers based on experimental data, *Appl. Therm. Eng.* 113 (2017) 1547–1557, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.10.147>.

12. A.S. Hujumdar, Heat transfer equipment design, Dry. Technol. 7 (4) (1989) 841–842, <https://doi.org/10.1080/07373938908916636>.
13. K. Okada, M. Ono, T. Tomimura, T. Okuma, H. Konno, S. Ohtani, Design and heat transfer characteristics of new plate heat exchanger, Heat Tran. Jpn. Res. 1 (1) (1972) 90–95.
14. B. Thonon, R. Vidil, C. Marvillet, Recent research and developments in plate heat exchangers, J. Enhanc. Heat Transf 2 (1-2) (1995) 149–155.
15. W. Shang, X. Zhan, Y. Wen, Y. Li, Z. Zhang, F. Wu, C. Wang, Deposition mechanism of electroless nickel plating of composite coatings on magnesium alloy, Chem. Eng. Sci. 207 (2019) 1299–1308, <https://doi.org/10.1016/j.ces.2019.07.048>.
16. Ayoub, Study of electroless Ni-P plating on stainless steel, Online J. Math. Stat. 41 (2009).
17. M. Buchtík, M. Krystynova, J. M'asilko, J. Wasserbauer, The effect of heat treatment on properties of Ni–P coatings deposited on a AZ91 magnesium alloy, Coatings 9 (2019) 461, <https://doi.org/10.3390/coatings9070461>.
18. H. Guo, Y. Tang, Effect of aluminum coating on corrosion and heat transfer performance of magnetic refrigerant gadolinium, J. Wuhan Univ. Technol.-Materials Sci. Ed. 34 (4) (2019) 914–918, <https://doi.org/10.1007/s11595-019-2137-4>.
19. J. Li, J. Liang, Y. Liu, High-thermal conductive coating used on metal heat exchanger, Chin. J. Chem. Eng. 22 (5) (2014) 596–601, [https://doi.org/10.1016/S1004-9541\(14\)60068-9](https://doi.org/10.1016/S1004-9541(14)60068-9).
20. R. Singh, Predictions of Effective Thermal Conductivity of Complex Materials, 2010, pp. 235–273. [33] S. Kandlikar, D. Schmitt, A. Carrano, J. Taylor, Characterization of surface roughness effects on pressure drop in single-phase flow in minichannels, Phys. Fluids 17 (2005), <https://doi.org/10.1063/1.1896985>.
21. R.S. Abiev, Effect of contact-angle hysteresis on the pressure drop under slug flow conditions in minichannels and microchannels, Theor. Found. Chem. Eng. 49 (4) (2015) 414–421, <https://doi.org/10.1134/S0040579515040223>.
22. J. Zhang, X. Zhu, M.E. Mondejar, F. Haglind, A review of heat transfer enhancement techniques in plate heat exchangers, Renew. Sustain. Energy Rev. 101 (2019) 305–328, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.017>.

ИННОВАЦИЯ ПРОЦЕССА НИКЕЛИРОВАНИЯ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Сатаева С. С., Амангельдиев М. Ж.

Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана,
Уральск, Казахстан
e-mail: sataeva_safura@mail.ru

Аннотация. В условиях быстрого развития мировой промышленности нельзя недооценивать негативное влияние коррозии стали на ресурсы окружающей среды и экономическое развитие. Кислородная коррозия и коррозия с выделением водорода — две важные реакции в стали. Для предотвращения коррозии стали было разработано множество каталитических материалов. В частности, некоторые материалы на основе никеля могут значительно улучшить коррозионную стойкость стали с контролируемой структурой, производительностью, защитой окружающей среды и другими преимуществами. Рентгеноструктурный анализ обоих образцов в никелированном состоянии показывает аморфную фазу, тогда как термообработанные покрытия имеют кристаллическую фазовую структуру. Кристаллическая структура повышает твердость покрытия и износостойкость. Трение и износ оцениваются с помощью трибометра на диске. В целом можно видеть, что покрытия с никелевым покрытием обладают лучшими показателями трения и износа по сравнению с другими гальваническими изделиями.

Целью настоящего исследования является улучшение эксплуатационных свойств стальных изделий путем термообработки никелевых покрытий, полученных методом химического восстановления. Образцы с покрытием подвергают серии термообработок (200-800°C) в течение 2 часов. Твердость образцов с покрытием измеряют с помощью микротвердомера Виккерса. Для оценки фрикционных характеристик и износостойкости покрытия проводят испытание на сухое скольжение с помощью иглочато-дискового трибометра.

Ключевые слова: термическая обработка, никелирование, электролиз, изделия из стали, химическое никелирование, гальванические процессы, коррозия.

INNOVATION OF THE PROCESS OF NICKEL PLATING OF STEEL PRODUCTS BASED ON HEAT TREATMENT

Sataeva Sapura, Amangeldiyev Meirambek

Zhangir Khan West Kazakhstan agrarian and Technical University,
Uralsk, Kazakhstan
e-mail: sataeva_sapura@mail.ru

Abstract. In the context of the rapid development of global industry, the negative impact of steel corrosion on environmental resources and economic development cannot be underestimated. Oxygen corrosion and hydrogen evolution corrosion are two important reactions in steel. Many catalytic materials have been developed to prevent steel corrosion. In particular, some nickel-based materials can greatly improve the corrosion resistance of steel with controlled structure, performance, environmental protection and other advantages. X-ray diffraction analysis of both samples in the nickel-plated state shows an amorphous phase, while the heat-treated coatings have a crystalline phase structure. The crystalline structure improves the hardness of the coating and wear resistance. Friction and wear are evaluated by a disc tribometer. In general, it can be seen that the nickel-plated coatings have better friction and wear performance than other galvanic products.

The purpose of this study is to improve the performance of steel products by heat treatment of electroless nickel coatings. The coated samples are subjected to a series of heat treatments (200-800°C) for 2 hours. The hardness of the coated samples is measured using a Vickers microhardness tester. To assess the friction characteristics and wear resistance of the coating, a dry sliding test is carried out using a needle-disk tribometer.

Key words: heat treatment, nickel plating, electrolysis, steel products, chemical nickel plating, galvanic processes, corrosion