

Б.К. Рахадиллов^{1,2}, М.Б. Баяндинова^{2*}, А. Маулит^{2,3}, Р. Кусаинов³, Б. Азаматов⁴¹С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті,
070018, Қазақстан Республикасы, Өскемен қ., 30-Гвардиялық дивизия к-сі, 34²ЖШС «PlasmaScience»,
070018, Қазақстан Республикасы, Өскемен, Өскемен қалалық әкімшілігі,³Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинки к-сі, 20 А⁴Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті,
070004, Қазақстан Республикасы, Өскемен қаласы, Серікбаев көшесі, 19

*e-mail: shohmanova_m@mail.ru

СҰЙЫҚ ТЫҢАЙТҚЫШТАРҒА АРНАЛҒАН БОЛАТТАН ЖАСАЛҒАН АППЛИКАТОРДЫ ЭЛЕКТРОЛИТТІК-ПЛАЗМАЛЫҚ БЕТТІК ҚАТАЙТУ

Аңдатпа: Осы зерттеудің нәтижелері бойынша сынақ жүргізуге және далада сұйық тыңайтқыштарды қолдану үшін ине аппликаторларын қолдану перспективаларын анықтауға келісімшарт жасалды. Жұмыста 12X18H10T болаттан жасалған сұйық тыңайтқыштарды қолдануға арналған қуыс аппликатор инелерінің трибологиялық және механикалық қасиеттеріне плазмалық электролитпен беттік қатайтудың әсерін зерттеу нәтижелері келтірілген. сұйық тыңайтқыштарды өңдеуге және сынауға арналған қуыс аппликатор инелері диаметрі 20 мм 12X18H10T цилиндрлік болаттан жасалған. Аппликаторларда үлгінің айналу жылдамдығының беттік беріктіктің біркелкілігіне әсерін зерттеу бойынша эксперименттер жүргізілді. ЭПБҚ жұмысына қатысты бірқатар параметрлер үшін әр түрлі термиялық циклдік режимдердің құрылымдық, фазалық және механикалық қасиеттерін жақсартудың оңтайлы бағыттары анықталды. Қыздыру және аустениттің қалдық тұрақтылығына әкелді; ЭПБҚ - дан кейінгі максималды микроқаттылық бастапқы мәннен екі есе жоғары болды; ЭПБҚ -дан кейінгі максималды беттік микроқаттылық 887,13 HV-ге жетті. Үйкеліс сынақтарында ЭПБҚ -дан кейінгі үйкеліс коэффициенті екі есе өсті. Бұл нәтиже сонымен қатар тозудың төмендеуіне ықпал етеді.

Түйін сөздер: электролиттік-плазмалық беттік қатайту, абразивті тозу, микроқаттылық, тозуға төзу, рентгендік құрылымдық талдау.

Кіріспе

Ауылшаруашылық техникасын коррозиядан және тозудан қорғау маңызды және күрделі міндет болып табылады, ол машиналарды жасау кезінде де, оларды пайдалану, сақтау және жөндеу кезінде де көп материалдық шығындарды талап етеді [1-3]. Алайда, минералды тыңайтқыштарды қолдану машинасы тозуға бейім [4]. Бұл машиналардың бөлшектері минералды тыңайтқыштармен және металдың тозуын тудыратын абразивті топырақ бөлшектерімен байланыста болатын нақты жұмыс жағдайларымен түсіндіріледі.

Бүгінгі таңда ауылшаруашылық техникасы нарығы минералды тыңайтқыштарды қолдану үшін әртүрлі машиналардың жеткілікті мөлшерін ұсынады. Олардың ішінде ең перспективалы-тыңайтқыштарды оңтайлы орналастыратын айналмалы нүктелік инъекциялар арқылы сұйық минералды тыңайтқыштарды енгізу жүйелері [5-7]. Бұл жүйелер сұйық тыңайтқыштарды топыраққа дәл аралықта және белгілі бір тереңдікте енгізу үшін айналмалы дөңгелекке бекітілген шыбықтарды пайдаланады, тамырдың зақымдануы мен топырақтың бұзылуы аз. Тамыр аймағына ұрықтандыру жүйелері қоректік заттардың тиімділігін арттырады және өнімділікті арттырады [8].

Сұйық тыңайтқыштарды топыраққа нүктелік енгізу үшін агрегаттарды кеңінен қолдануға кедергі келтіретін мәселелердің бірі-тозуды кетіру үшін оның жұмыс бетінің бұзылуына байланысты осы құрылғының дөңгелектерінің инелерін (саптамаларын) жиі ауыстыру. Әдетте сұйық тыңайтқыштарды нүктелік қолдану қондырғысының доңғалақ инелері тот баспайтын болаттан, титан қорытпасынан және карбид-вольфрам ұшы бар тот баспайтын болаттан жасалады [9-11]. Карбид-вольфрам ұшы және титан қорытпасы бар тот баспайтын болаттан

жасалған доңғалақ инелермен салыстырғанда түрде ұзақ қызмет етеді, бірақ олар қымбат. Тот баспайтын болаттан жасалған инелердің құны салыстырмалы түрде төмен болғанына байланысты отандық ауылшаруашылық кәсіпорындары қондырғыларды кеңінен қолданады [12]. Бірақ, тот баспайтын болат 12X18H10T тыңайтқыштардың агрессивті құрамына және топырақтың абразивті бөлшектерін алып тастауға байланысты тозуға өте сезімтал.

Алайда, бөлшектердің тозуына қарсы тұру негізінен бетті өңдеуді қажет етеді. Бүгінгі таңда бетті өңдеудің ең перспективалы және өзекті технологияларының бірі электролиттік-плазмалық бетті қатайту (ЭПБҚ) деп санауға болады. Бұл әдіс бірнеше сағаттан бірнеше күнге дейін созылуы мүмкін дәстүрлі термиялық өңдеу процестерімен салыстырғанда әлдеқайда қысқа уақыт ішінде (бірнеше секунд) қажетті физика-механикалық қасиеттерді жақсартуға мүмкіндік беретіні дәлелденді [13].

Біздің алдыңғы жұмыстарымызда [14,15] көлемді және беттік термиялық өңдеудің орташа көміртекті болаттардың құрылымдық-фазалық күйіне әсері туралы салыстырмалы зерттеу жүргізілді. Беттік шынықтыру электролиттік плазма әдісімен жүргізілді. Көлемді шынықтыру 900°C дейін қыздыру арқылы жүзеге асырылды, содан кейін су мен майға салқындатылды, ал кейбір шыңдалған үлгілер 510°C температурада күйдірілді. Бұл электролиттік плазманы қатайту әдісін пеште жылыту мен салқындатудың дәстүрлі әдісіне балама ретінде қарастыруға болатындығын дәлелдейді.

Авторлар жұмыста [16] көмертекті болатының электролиттік плазмалық термиялық өңдеу нәтижелерін ұсынды. Нәтижелер көміртекті болатының қаттылығы шамамен 250 HV_{0,2}, ал бетті термиялық өңдеуден кейінгі қаттылық шамамен 1000-1050 HV_{0,2} екенін көрсетеді. Өңделген үлгілер тозуға жақсы төзімділікті көрсетеді. Жабық аймақ босату аймағы болып табылады және сорбит пен босатылған мартенситтен тұрады. Сорбиттің қаттылығы мартенситке қарағанда айтарлықтай төмен. Осылайша, көмертекті болат үлгілерінің тозуға төзімділігі төмендейді. Осыған сүйене отырып, осы авторлардың нәтижелері ЭПБҚ физикалық-механикалық қасиеттерін жақсартатынын және пайдалану жағдайында қызмет ету мерзіміне оң әсер ететінін растайды [17-19].

Механикалық қасиеттерді жақсарту үшін циклдік жылу әсерлерін қолдануға негізделген ЭПБҚ режимін әзірлеу ұсынылады. Алынған қатайту құрылымдары жоғары қаттылыққа, тозуға төзімділікке және жарыққа төзімділікке ие. Сондықтан, бұл жұмыста 12X18H10T болаттан жасалған сұйық тыңайтқыштарды қолдану үшін қуыс аппликатор инелерінің трибологиялық және механикалық қасиеттеріне ЭПБҚ әсері зерттелді.

Зерттеу әдістері

ЭПБҚ зерттеу үшін материалы ретінде 12X18H10T болаттан 4 үлгі алынды. ЭПБҚ электролиттік-плазмалық өңдеу қондырғысында катодтық режимде жүзеге асырылды [20,21]. Қуат көзі қуатты түзеткіш болды, ол шығуда тұрақты ток түрінде 360V/100A максималды мән береді [22,23]. Натрий карбонатының ерітіндісі (Na₂CO₃) қыздыру және салқындату көзі ретінде пайдаланылды. Электролит құрамы 80 % тазартылған су және 20 % натрий карбонаты (%масса). Кернеудің мәні (U, V) және өңдеу уақыты (t, c) әр үлгі үшін әр түрлі болды. Үлгілер 320V, 300V кернеулерінде қатайтылды. ЭПБҚ үшін үлгі режимдері №1 кестеде келтірілген. Процесс бірнеше дәйекті қадамдарды қоса ұйымдастырылды. Бірінші кезеңде бөлікке 320 В кернеу берілді, ол 2 секундқа созылды. Осыдан кейін 7 секунд ішінде бөлік кернеусіз қалды, бұл оның салқындауына мүмкіндік берді. Екінші және үшінші кезеңде сәл өзгеше болды: 300 В кернеуі 2 секундқа берілді, содан кейін осы сатылардың әрқайсысы 10 секундқа салқындату кезеңінде қарастырылды.

Үлгілерді зерттеу нәтижелері бойынша ең тиімді және табысты 3 режим болып табылады. Сондықтан, 12X18H10T болаттан жасалған диаметрі 20 мм цилиндр түріндегі сұйық тыңайтқыштарды қолдануға арналған аппликатордың қуыс инелерін одан әрі өңдеу және сынау үшін 3 режим таңдалды. Қатаю процесінің біркелкілігін қамтамасыз ету үшін бүкіл процедуралық цикл кезінде бөлік тілімен айналды. Жылдамдықтың әсерін анықтау үшін үлгілердің айналуы беттің біркелкі қатаюына минутына 4, 6 және 8 айналым жылдамдығымен үш аппликаторға эксперимент жүргізілді. Сұйық тыңайтқыштарды қолдануға арналған ЭПБҚ аппликаторының режимдері 2-кестеде келтірілген.

Кесте 1 – ЭППУ үшін 12Х18Н10Т болат үлгілерінің режимдері

№	Режимдер	Электролит	Кернеу (U, В)	Ток (I, А)	Өңдеу уақыты (t, с)
1	1 Үлгі	20% Na ₂ CO ₃ 80% тазартылған су	320	75	2 сек (қыздыру) – суыту
2	2 Үлгі		320 300	80	2 сек (қыздыру) – (7сек (суыту)) 2 сек (қыздыру) – суыту
3	3 Үлгі		320 300 300	80	2 сек (қыздыру) – (7 сек (суыту)) 2 сек (қыздыру) – (10 сек (суыту)) 2 сек (қыздыру) – (суыту)
4	4 Үлгі		320	75	3 сек (қыздыру) – суыту

Кесте 2 – Сұйық тыңайтқыштарды қолдануға арналған аппликатор инесінің ЭПБҚ үлгілерінің режимдері

№	Режимдер	Электролит	Кернеу (U, В)	Ток (I, А)	Өңдеу уақыты (t, с)	Үлгінің айналу жылдамдығы, айн/мин
1	Үлгі 1	20% Na ₂ CO ₃ 80% тазартылған су	320 300 300	80	2 сек (қыздыру) – 7 сек (суыту) –	4
2	Үлгі 2				2 сек (қыздыру) – 10 сек (суыту) –	6
3	Үлгі 3				2 сек (қыздыру) – суыту	8

Рентгендік фазалық талдау Xpert Pro PANalytical құрылғысында жүргізілді. Зерттеу барысында анодты мыс түтікке кернеу 40 кВ және ток 30 мА, $\text{Cu-K}\alpha$ сәулеленуі ($\lambda = 1,541 \text{ \AA}$) 10 нан 70 градусқа дейін, түсіру қадамы 0,02 және санау уақыты 0,5 с/қадам болды. Алынған дифрактограмма сызықтары бойынша фазалық талдау HighScore Plus және Match 3 қосымша бағдарламалық кешенінің көмегімен жүргізілді. Үлгілерді дайындау, түсіру режимдерін таңдау және дифрактограммаларды есептеу жұмыста көрсетілген әдістерге сәйкес жүргізілді [24].

Беткі қабаттың тозуға төзімділігі беріктендіру абразивті тозу процесінде уақыт бірлігінде массаның азаюы ретінде анықталды. Сынақтар жұмыста сипатталған әдісті қолдана отырып, абразивті тозуға арналған қондырғыда жүргізілді [25]. Сынақ шарттары: жүктеме 44 Н, ұстау уақыты 10 мин., абразивті материал – <100 мкм түйіршікті корунд ұнтағы.

Үйкеліс коэффициенті TRB3 әмбебап трибометрінде (Anton Paar, Австрия) «шар-диск» үйкеліс схемасы бойынша бөлме температурасында 0,05 м/с сызықтық жылдамдықпен қарсы корпустың болат жазықтығында майлаусыз үлгілерді сырғыту арқылы анықталды $25 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$. тік жүктеме 10Н. Қарсы корпустың материалы – 100 Cr6. Сыналатын материалдардың үйкеліс коэффициенті (L) 100 м-ге тең үйкеліс жолынан өткеннен кейін анықталды [26]. Тозу іздері мен кедір-бұдырлық SurfTest 410 моделінің Mitutoyo профилімен зерттелді.

Қаттылық пен серпімділік модулін анықтау DIN EN ISO 14577-1 стандартының талаптарына сәйкес FISCHERScope HM2000 с өлшеу жүйесін қолдана отырып жүргізілді. Сынақ нәтижелерін өңдеу win-hsc құралының бағдарламалық жасақтамасы арқылы жүзеге асырылды. Тән параметр ретінде Мартенс қаттылығы (НМ) таңдалды, ол келесі (1) формула бойынша есептелді [27].

$$HM = \frac{F}{A_s(h)} \quad (1)$$

мұндағы, HM – Мартенс қаттылығы, $[\text{N/mm}^2]$; F – сынақ жүктемесі, $[\text{N}]$; A_s – индентордың көлденең қимасының ауданы, $[\text{mm}^2]$; h – индентордың ену тереңдігі, $[\text{mm}]$. Қаттылықты анықтау үшін сынақ кезінде 1000 мН жүктеме және 20 с экспозиция уақыты пайдаланылды. Әрбір үлгі үшін он сынақ жүргізілді және алынған мәндер соңғы мәнді алу үшін орташаланған.

Үлгілердің микроқаттылығы Металаб 502 құралында Викерс әдісімен анықталды [18]. Өлшеу параметрлері: жүктеме 20 г, ұстау уақыты 10 с. Микроқаттылық (2) формула бойынша есептеледі:

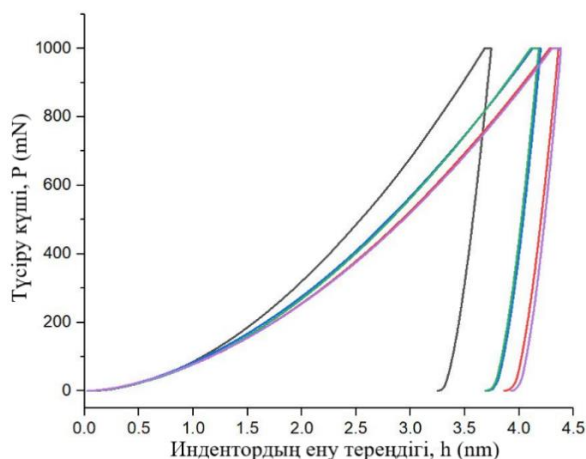
$$HV = \frac{1.854P}{d^2} \quad (2)$$

мұндағы P – қолданылатын жүктеме (кгс), d -индентордың орташа диагоналы (мм).

Зерттеу нәтижелері

1.1 ЭПБҚ ға дейін және кейін 12X18H10T болаттың механикалық және трибологиялық қасиеттерін зерттеу

Микроқаттылық пен Юнг модулін өлшеу әдістемесі шегініс тереңдігі мен жанасу аймағының қолданылатын күшке эксперименттік тәуелділігін сипаттайтын қадамдық функцияның параметрлерін таңдау және осы мәліметтерге сәйкес қаттылық пен серпімділік модулін есептеу болып табылады [28].

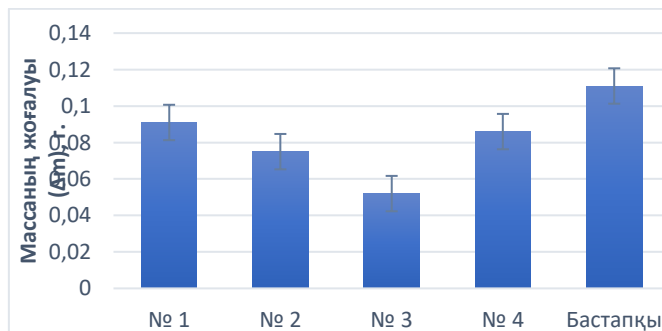


1 сурет – P-h-диаграмма. 12X18H10T болат үлгілері үшін индентордың ену тереңдігіне қалыпты күштің тәуелділік қисықтары: №1-№4 режимдер бойынша ЭПБҚ

Кесте 3. Fischerscope HM2000 S индентормен өлшенген 12X18H10T ЭПБҚ болатының қаттылығы

Режимдер	Мартенс бойынша қаттылық, МПа	Серпімділік модулі, ГПа
№ 1	2016,5	174,0
№ 2	2173,2	182,1
№ 3	2191,0	185,9
№ 4	1995,2	189,6

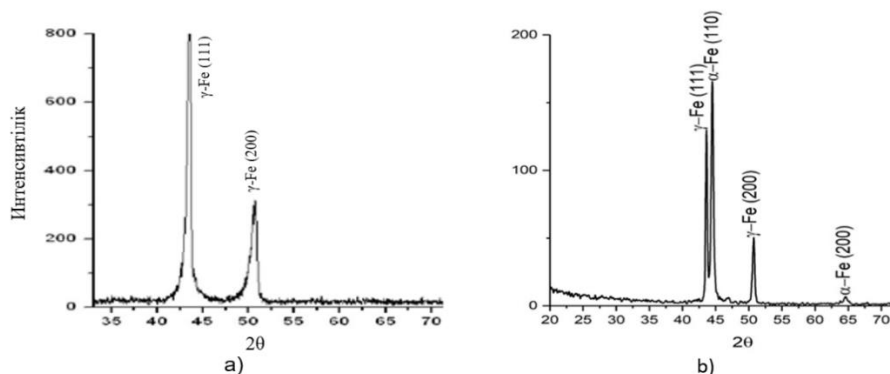
Осы эксперименттегі үлгілерінің жоғары қаттылығы тозу бетінің деформация тереңдігін айтарлықтай шектейді, бұл үйкеліс коэффициенттерінің айтарлықтай төмендеуіне әкеледі [29]. Алынған мәндерін салыстыра отырып, үлгі бетінің қаттылығы неғұрлым төмен болса, материалдың айқын деформациясына әкеледі деп айтуға болады.



2 сурет – 12X18H10T болат үлгілерінің абразивті тозуы: ЭПБҚ-дан кейін режимдер бойынша № 1, № 2, № 3, № 4 және бастапқы үлгі

Алынған мәліметтерге сүйене отырып, келесі заңдылықтарды анықтауға болады. Көріп отырғаныңыздай, 3a суретте 12X18H10T болат үлгісінің бастапқы құрылымы аустениттік (γ) фазалар болып табылады. 3b суретте сынақ нәтижелері бойынша ең қатты үлгі ретінде

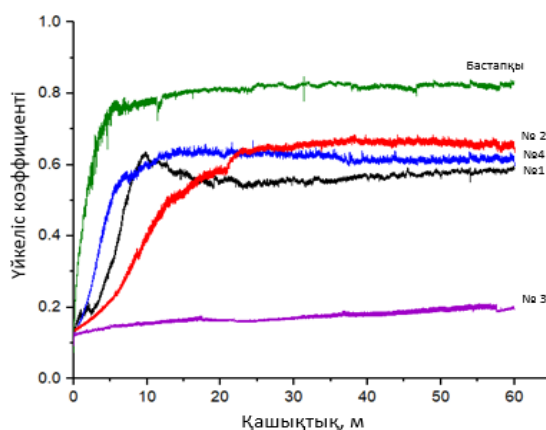
таңдалған № 3 үлгінің рентгендік фазалық талдауының нәтижелері көрсетілген. Жүргізілген рентгендік фазалық талдау ЭПБҚ-дан кейін беткі қабатта негізінен аустенит (γ -Fe) және феррит (α -Fe) бар екенін көрсетті. Аустенит ҚОК құрылымына, ал феррит КОК құрылымына ие. Жаңа фазалардың пайда болуын Fe-C күй диаграммасынан түсіндіруге болады. Аустенит фазасының болуы қыздыру температурасының жоғарылауымен байланысты болуы мүмкін, өйткені карбид фазалары толығымен ериді және бұл өз кезегінде қалдық аустениттің тұрақтылығына әкеледі. [30] сәйкес, ЭПБҚ кезінде салқындату жылдамдығы жоғары болуынан 10%- дан 45%-ға дейін феррит фазалары түзіледі.



3 сурет – 12X18H10T үлгілерінің рентгендік фазалық талдауы:
а) бастапқы үлгі, б) № 3 режим бойынша үлгі

Электр потенциалының үзіліссіз қосылуы мерзімді ұлғаюына әкеледі және қыздыру жылдамдығының өсуін тұрақтандырады немесе баяулатады, содан кейін уақытты ұзартуға және қалың қыздырылған қабат алуға мүмкіндік береді [29]. Қабаттың қалыңдығы көлденең қимада оптикалық микроскоптың көмегімен өлшенді, оған сәйкес жабынның орташа қалыңдығы 885 мкм құрайды.

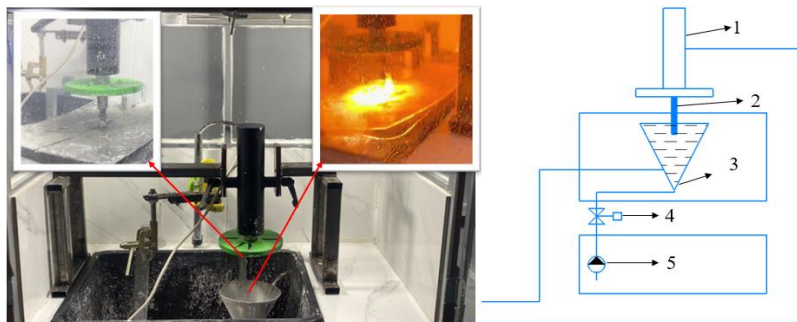
Әр түрлі термиялық цикл жағдайында үлгілердің сырғанау үйкеліс коэффициенттері 4 суретте көрсетілген. Зерттеулер көрсеткендей, ЭПБҚ үлгісінен кейін үйкеліс коэффициенті төмендейді. Егер бастапқы күйінде үйкеліс коэффициенті $\sim 0,8$ болса, онда ЭПБҚ-дан кейін ол 0,17-ге дейін төмендейді. Үйкеліс коэффициентінің төмендеуі тозудың төмендеуін сипаттайды. Бұл деректер [31] жұмысында алынған мәліметтерге ұқсас, мұнда үлгілер Рингер ерітіндісінде тозуға сыналған. Авторлар ЭПБҚ үйкеліс коэффициентінің айтарлықтай төмендеуіне әкелетінін көрсетті. Бұл көрсеткіш өңделмеген үлгілерге қарағанда бірнеше есе аз.



4 сурет – 12X18H10T болат үлгілерінің үйкеліс коэффициенті: ЭПБҚ дан кейін режимдер
№ 1, № 2, № 3, № 4 және бастапқы үлгі

Аппликаторларды қатайту процесі үшін MINI-15 дәнекерлеу роторына негізделген құрылғы арнайы әзірленді және жасалды, онда аппликаторлар сенімді және ыңғайлы түрде

бекітіледі (5 суретті қараңыз). Бұл құрылғы түпкілікті өнімнің сапасын жақсартуға ықпал ететін қатайту операцияларын жүргізу кезінде оңтайлы жағдайларды қамтамасыз етуге арналған. Мұндай құрылғы қатайту процесі кезінде аппликатордың дұрыс орналасуын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді, бұл өз кезегінде материалдың деформациясы немесе зақымдану қаупін болдырмай, әр аппликатордың бүкіл бетіне температураның біркелкі таралуына кепілдік береді. Аппликаторды құрылғыға бекіту олардың сенімді бекітілуін қамтамасыз ететіндей және термиялық өңдеу кезінде орын ауыстыру немесе құлау мүмкіндігін болдырмайтындай етіп жүргізіледі.

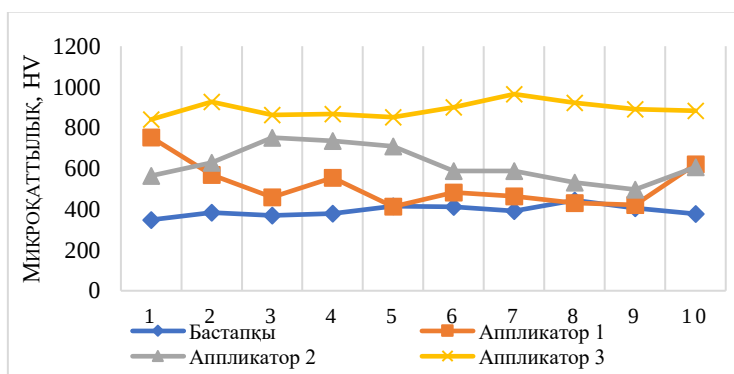


1-үлгіні айналдырғыш, 2-аппликатор, 3 – электролиттік ұяшық, 4 – түзеткіш клапаны, 5-сорғы.

5 сурет – Инені бекітуге арналған құрылғы
(сұйық тыңайтқыштарды қолдануға арналған аппликаторлар)

1.2. ЭПБҚ-дан кейін сұйық тыңайтқыштарды қолдану үшін аппликатордың болат инелерінің микроқаттылығын зерттеу

Нәтижелерді талдай отырып және оларды өңдеуден бұрын иненің сипаттамаларымен салыстыра отырып, микроқаттылықтың минутына 8 айналымда бетке таралуы біртекті және біркелкі болады деген қорытынды жасалды (6 сурет), сонымен қатар микроқаттылықтың мәні бастапқы үлгіге қарағанда шамамен 1,5-2 есе жоғары HV.



6 сурет – Сұйық тыңайтқыштарды қолдануға арналған аппликатор инелерінің микроқаттылығы, режим бойынша алынған үлгілер және бастапқы үлгі

№ 1 және № 2 үлгілердің микроқаттылығы тең емес және кейбір нүктелерде өлшеу қаттылықтың күрт төмендеуі немесе жоғарылауы байқалады. Біздің ойымызша, бұл айналу айналымына байланысты, айналым неғұрлым көп болса, аппликаторлардың бетіндегі микроқаттылықтың таралуындағы бұзушылықтар соғұрлым аз болады. Орташа алғанда, модификацияланған бетінің микроқаттылығы ~ 650 HV-ге жетті, максималды мән 887,13 HV №3 үлгі режиміне тән. Бастапқы үлгінің бетінің микроқаттылығы 392,32 HV құрады.

Қорытынды

Жүргізілген жұмыстардың нәтижелері бойынша егістік жағдайында сынақтарды қолдану және сұйық тыңайтқыштарды енгізуге арналған аппликатор инелерінің перспективаларын анықтау туралы келісім жасалды.

Термоциклдің әртүрлі режимдеріндегі ЭПБҚ зерттеулеріне байланысты көптеген параметрлер бойынша жақсартылған құрылымдық-фазалық және механикалық қасиеттері бар № 3 үлгі оңтайлы режим болып саналады.

ЭПБҚ нәтижесінде үлгілер бетінің фазалық құрамы аустенит (γ -Fe) және феррит (α -Fe) болуымен сипатталатыны анықталды. ЭПБҚ нәтижесінде бетті қатайту үшін қыздыру қалдық аустениттің тұрақтылығына әкелді.

Беттің микроқаттылығының жоғарылауы байқалды, оның максималды мәні 887,13 HV-ге жетеді, бұл №3 үлгі режиміне сәйкес келеді. ЭПБҚ -дан кейінгі микроқаттылықтың максималды мәні бастапқы мәнмен салыстырғанда 2 есе көп екендігі анықталды.

Сондай-ақ, үйкеліс сынақтары кезінде ЭПБҚ-дан кейін үйкеліс коэффициентінің 0,17-ге дейін төмендеуі анықталды, ол бастапқы күйінде $\sim 0,8$ болды. Бұдан шығатыны, бұл нәтиже өз кезегінде тозуды азайтуға көмектеседі.

Сұйық тыңайтқыштарды қолдану үшін қолданылатын агрегаттардың аппликаторларын қатайтуға бағытталған эксперименттер авторлар ұжымы немесе зертхананың ғылыми тобы өз дизайны мен өндірісінің ЭПБҚ мамандандырылған қондырғысында сәтті орындалды.

Әдебиеттер тізімі

1. Agricultural Machinery Corrosion / E.M. Gamal et al // Publisher: Intech Open 2023. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.108918>.
2. Sobirjonov A. Prevention of corrosion and accelerated wear of agricultural machinery / A. Sobirjonov, Z.X. Alimova, G.P. Niyazova // Elementary Education Online. – 2021. – Vol 20, Issue 5. – P. 7482-7486. DOI: <https://doi.org/10.17051/ilkonline.2021.05.848>.
3. Mukesh J. Application of nanotechnology in farm power, machinery and operations: A review. / J. Mukesh, C. Swapnil, K. Vinod. // Agricultural Engineering Today. – 2021. – Volume 45, Issue 4. DOI: <https://10.52151/aet2021454.1541>.
4. V.P. Zabrodin. Analysis of factors influencing wear of working surfaces of mineral fertilizer distributors / Zabrodin V.P. // Mechanization and electrification of animal husbandry, crop production. – 2013. – № 4(24). – P. 44-48.
5. Laguë C. Engineering of land application systems for livestock manure: A review. / C. Laguë, H. Landry, M. Roberge. // Canadian biosystems engineering. – 2005. – Vol. 47. – P. 6-28.
6. Review of Two Mechanical Separation Technologies for the Sustainable Management of Agricultural Phosphorus in Nutrient-Vulnerable Zones / G.A. Lyons et al // Agronomy. – 2021. – № 11. P. 836. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11050836>
7. Design considerations of variable rate liquid fertilizer applicator for mature oil palm trees. Precision Agriculture / M. Yamin et al // Published. – 2022. – Vol. 23. – P. 1413-1448.
8. Thorup-Kristensen K. Root system-based limits to agricultural productivity and efficiency: the farming systems context / K. Thorup-Kristensen, J. Kirkegaard // Annals of Botany. – 2016. – Vol. 118. – P. 573-592. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcw122>.
9. Design and Experiment of a Targeted Variable Fertilization Control System for Deep Application of Liquid Fertilizer / W. Zhou et al // Agronomy. – 2023. № 13. P. 1687. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13071687>.
10. Liu H. Accelerate the process of intelligent agricultural machinery / H. Liu // Contemp. Farm Mach. – 2022. № 7. [Google Scholar].
11. Experimental Investigation on Tribological Behaviour of Various Processes of Anodized Coated Piston for Engine Application / M. Meikandan et al // Journal of Nanomaterials. – 2022. DOI: <https://doi.org/10.1155/2022/7983390>.
12. Theoretical and experimental investigation of multiplayer (TiAlSiY)N/CrN coating before and after gold ions implantation / O.V. Maksakova et al // High Temperature Material Processes. – 2021. – № 1, Vol. 25. – P. 57-70.
13. Dudkina N.G. Surface layer of 40Kh steel after electromechanical treatment with dynamic force impact. / N.G. Dudkina, V.N. Arisova // Izv. Ferr. Metall. – 2021. – № 64. P. 259-265.
14. Investigation on the effect of technological parameters of electrolyte-plasma cementation method on phase structure and mechanical properties of structural steel 20X / B. Rakhadilov et al // AIMS Materials Science/ – 2023/ – Vol. 10, Issue 5. P. 934-947. DOI: <https://doi.org/10.3934/matrscl.2023050>.
15. Surface modification of coatings based on Ni-Cr-Al by pulsed plasma treatment / D. Yeskermessov // AIMS Materials Science. – 2023. – Vol. 10, Issue 5. – P. 755-766. DOI: <https://doi.org/10.3934/matrscl.2023042>.

16. Bayati M.R. Surface alloying of carbon steels from electrolytic plasma / M.R. Bayati, R. Molaei, K. Janghorban // Met. Sci. Heat Treat. – 2011. № 53. P. 91-94.
17. Ayday A. The effects of overlapping in electrolytic plasma hardening on wear behavior of carbon steel / A. Ayday, D. Kirsever, A.S. Demirkiran // Trans. Indian Inst. Met. – 2022. – № 75. P. 27-33.
18. A Study on Surface Hardening and Wear Resistance of AISI 52100 Steel by Ultrasonic Nanocrystal Surface Modification and Electrolytic Plasma Surface Modification Technologies. N. Magazov et al // Materials. – 2023. № 16. P. 6824. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma16206824>.
19. Dayanç A. The cathodic electrolytic plasma hardening of steel and cast iron based automotive camshafts / A. Dayanç, B. Karaca, L.C. Kumruoglu // Acta Phys. – 2017. – № 131. P. 374-378.
20. The cathodic electrolytic plasma hardening of the 20Cr2Ni4A chromium-nickel steel / B.K. Rakhadilov et al // Journal of Materials Research and Technology. – 2020. – № 9. – P. 6969-6976.
21. Structural and phase transformations in 0.3C-1Cr-1Mn-1Si-fe steel after electrolytic plasma treatment / E. Kozlov // AIP Conf. Proc. – 2016. – № 1783(1)020112.
22. Change of 0.34Cr-1Ni-Mo-Fe steel dislocation structure in plasma electrolyte hardening / B. Rakhadilov et al // Materials. – 2021. – № 14. P. 1928. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed].
23. Rakhadilov, B. Creation of bioceramic coatings on the surface of ti-6al-4v alloy by plasma electrolytic oxidation followed by gas detonation spraying / B. Rakhadilov, D. Baizhan // Coatings. – 2021. – № 11. P. 1433. [Google Scholar] [CrossRef].
24. Influence of Diabase Filler on the Structure and Tribological Properties of Coatings Based on Ultrahigh Molecular Weight Polyethylene / M. Skakov et al // Polymers. – 2023. № 15. P. 3465. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym15163465>.
25. Rakhadilov B.K. HVOF technology application for wear resistant WC coatings – review / Rakhadilov B.K., Muktanova N., Zhurerova L.G. // Bulletin of the NNC RK. – 2023. – Vol. 1. – P. 4-14. DOI: <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2023-1-4-14>.
26. Change of structure and mechanical properties of R6M5 steel surface layer at electrolytic-plasma nitriding / M. Skakov et al // Advanced Materials Research. – 2014. – Vol. 1040. – P. 753-758. DOI: [10.4028/www.scientific.net/AMR.1040.753](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1040.753).
27. Martens Hardness of CAD/CAM Resin-Based Composites / M. Rosentritt et al // Appl. Sci. – 2022. – № 12. P. 7698. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12157698>.
28. Investigation of Changes in the Structural-Phase State and the Efficiency of Hardening of 30CrMnSiA Steel by the Method of Electrolytic Plasma Thermocyclic Surface Treatment // B.D. Rakhadilov et al // Coatings. – 2022. № 12. P. 1696. DOI: <https://doi.org/10.3390/coatings12111696>.
29. Modification of the Surface of 40 Kh Steel by Electrolytic Plasma Hardening / Z. Sagdoldina et al // Metals. – 2022. № 12. – P. 2071. DOI: <https://doi.org/10.3390/met12122071>.
30. Проскуряков В.И. Разработка технологии тонкослойной лазерной модификации хромоникелевой стали 12X18H10T / В.И. Проскуряков, И.В. Родионов // Инженерные науки. – 2022. – № 3. DOI: <https://doi.org/10.21685/2072-3059-2022-3-9>.
31. Characteristics of a Plasma Electrolytic Nitrocarburising Treatment for Stainless Steels / X. Nie et al // Surface and Coatings Technology. – 2001. – Vol. 139. – P. 135-142.

Б.К. Рахадиллов^{1,2}, М.Б. Баяндинова^{2*}, А. Маулит^{2,3}, Р. Кусаинов³, Б. Азаматов⁴

¹Восточно-Казахстанский университет им. С. Аманжолова,
070018, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск, ул. 30-й Гвардейской дивизии, 34
²ЖШС «PlasmaScience»,

070018, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск, Усть-Каменогорская городская администрация,

³Университет имени Шакарима города Семей,
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глиники, 20 А

⁴Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева,
070004, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск, ул. Серикбаева, 19

*e-mail: shohmanova_m@mail.ru

ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЕ ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ СТАЛЬНОГО АППЛИКАТОРА ДЛЯ ЖИДКИХ УДОБРЕНИЙ

По результатам этого исследования был заключен контракт на проведение испытаний, определение перспектив применения игольчатых аппликаторов для внесения жидких удобрений в полевых условиях. В работе представлены результаты исследования влияния поверхностного

упрочнения плазменным электролитом на трибологические и механические свойства полых игл-аппликаторов для внесения жидких удобрений из стали 12X18H10T. Полые иглы-аппликаторы для обработки и тестирования жидких удобрений были изготовлены из цилиндрической стали 12X18H10T диаметром 20 мм. На аппликаторах были проведены эксперименты по исследованию влияния скорости вращения образца на равномерность поверхностного упрочнения. Для ряда параметров, имеющих отношение к работе ЭППУ, были определены оптимальные области улучшения структурных, фазовых и механических свойств при различных режимах термоциклирования. Нагрев и привел к остаточной стабильности аустенита; максимальная микротвердость после ЭППУ вдвое превышала исходное значение; максимальная поверхностная микротвердость после ЭППУ достигла 887,13 HV. При испытаниях на трение коэффициент трения после ЭППУ увеличился вдвое. Этот результат также способствует снижению износа.

Ключевые слова: электролитно-плазменное поверхностное упрочнение, абразивный износ, микротвердость, износостойкость, рентгеноструктурный анализ.

B.K. Rakhadilov^{1,2}, M.B. Bayandinova^{2*}, A. Maulit^{2,3}, R. Kusainov³, B. Azamatov⁴

¹S. Amanzholov East Kazakhstan University

070018, Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk, 30th Guards Division str., 34

²ZSHS «Plasma Science»,

070018, Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk, Ust-Kamenogorsk city administration,

³Shakarim University of Semey,

071412, Republic of Kazakhstan, Semey, Glinka str., 20 A

⁴D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University,

070004, Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk, Serikbayev str., 19

*e-mail: shohmanova_m@mail.ru

ELECTROLYTE-PLASMA SURFACE HARDENING OF STEEL APPLICATOR FOR LIQUID FERTILISERS

Based on the results of this study, a contract was concluded to test and determine the prospects of application of needle applicators for liquid fertiliser application in field conditions. The paper presents the results of investigation of the influence of surface hardening by plasma electrolyte on tribological and mechanical properties of hollow needle applicators for liquid fertiliser application made of 12Kh18N10T steel. The hollow needle applicators for liquid fertiliser handling and testing were made of cylindrical 12Kh18N10T steel with a diameter of 20 mm. Experiments were conducted on the applicators to investigate the effect of sample rotation speed on the uniformity of surface hardening. For a number of parameters relevant to the electrolyte-plasma surface hardening (EPSH) performance, the optimum areas of improvement of structural, phase and mechanical properties under different thermocycling regimes were determined. Heating and resulted in residual austenite stability; the maximum microhardness after EPSH was two times higher than the initial value; the maximum surface microhardness after EPSH reached 887.13 HV; In friction tests, the coefficient of friction after EPSH doubled. This result is also favourable to wear reduction.

Key words: electrolyte-plasma surface hardening, abrasive wear, microhardness, wear resistance, X-ray diffraction analysis.

Авторлар туралы мәліметтер

Бауыржан Корабаевич Рахадиллов – PhD, С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университетінің ғылыми жұмыс жөніндегі проректор, Өскемен қ., Қазақстан; e-mail: rakhadilovb@mail.ru.

Молдир Болеухановна Баяндинова* – ЖШС «PlasmaScience», аға ғылыми қызметкері; e-mail: shohmanova_m@mail.ru.

Алмасбек Маулит – Семей қ. Shakarim University, Техникалық физика және жылу энергетикасы кафедрасының докторанты, e-mail: maulit.almas@gmail.com.

Ринат Кусаинов – Семей қ. Shakarim University, Материалдар бетін модификациялау ғылыми орталығының жетекшісі; e-mail: rinat.k.kus@mail.ru.

Багдат Азаматов – PhD, Д. Серікбаев атындағы ШҚТУ, «Smart engineering» құзыреттер орталығының басшысы. e-mail: Azamatovy@mail.ru.

Сведения об авторах

Бауыржан Корабаевич Рахадиллов – PhD, Проректор по научной работе Восточно-Казахстанского университета им. С. Аманжолова, г. Усть-Каменогорск, Казахстан; e-mail: rakhadilovb@mail.ru.

Молдир Болеухановна Баяндинова* – старший научный сотрудник, ТОО «PlasmaScience»; e-mail: shohmanova_m@mail.ru.

Алмасбек Маулит – докторант кафедры технической физики и теплоэнергетики, Shakarim University г. Семей; e-mail: maulit.almas@gmail.com.

Ринат Кусаинов – Руководитель научного центра Модификации поверхности материалов Shakarim University г.Семей; e-mail: rinat.k.kus@mail.ru.

Багдат Азаматов – PhD, Руководитель центра компетенций «Smart engineering», ВКТУ им. Д. Серикбаева; e-mail: Azamatovy@mail.ru.

Information about the authors

Bauyrzhan Korabaevich Rakhadilov – PhD, Vice-rector on scientific work of Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan; e-mail: rakhadilovb@mail.ru.

Moldir Boleukhanovna Bayandinova* – Senior Researcher, «PlasmaScience» Ltd.; e-mail: shohmanova_m@mail.ru.

Almasbek Maulit – doctoral student of the Department of Technical Physics and Heat Power Engineering, SHAKARIM UNIVERSITY Semey city; e-mail: maulit.almas@gmail.com.

Rinat Kusainov – Head of Scientific Centre of Surface Modification of Materials Shakarim University Semey city; e-mail: rinat.k.kus@mail.ru.

Bagdat Azamatov – PhD, Head of Competence Centre «Smart engineering», Daulet Serikbayev East Kazakhstan Technical University; e-mail: Azamatovy@mail.ru.

Редакцияға енуі 08.04.2024

Өңдеуден кейін түсуі 21.05.2024

Жариялауға қабылданды 23.05.2024

DOI: 10.53360/2788-7995-2024-2(14)-41

МРНТИ: 55.39.41



М.В. Ермоленко*, А.М. Советказыева

Университет имени Шакарима города Семей,
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А,
*e-mail: tehfiz@mail.ru

АНАЛИЗ ЦИКЛА ПАРОКОМПРЕССИОННОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ ПРИ РАБОТЕ НА РАЗЛИЧНЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ АГЕНТАХ

Аннотация: В настоящее время все больше внимания уделяют проблеме эффективного применения озонобезопасных холодильных агентов, применяемых в циклах парокомпрессионных холодильных машин. Это стало особенно важно, когда ряд озонобезопасных холодильных агентов имеют большой индекс глобального потепления, что в последнее время является неприемлемым в отношении окружающей среды во всем мире. Поэтому проведение исследований по оценке эффективности применения новых холодильных агентов в результате замены одних холодильных агентов на другие является актуальной задачей. При этом необходимо постараться сохранить то же оборудование, что было до замены рабочего вещества. В связи с этим обоснованная эффективность работы парокомпрессионных холодильных машин при замене фреонов являются неотъемлемой составляющей модернизации холодильных систем. В данной работе представлено исследование эффективности работы парокомпрессионных одноступенчатых циклов холодильных машин при работе на разных холодильных агентах. Термодинамическая оценка различных озонобезопасных холодильных агентов проводилась в сравнении с запрещенным озонорасщепляющим холодильным агентом – дихлордифторметан. В ходе проведенного исследования были определены холодопроизводительность и эффективная мощность холодильного цикла для рассматриваемых холодильных агентов. Проведена оценка величины холодильного агента и степени совершенства циклов для разных холодильных агентов. Определена удельная объемная холодопроизводительность исследуемых холодильных агентов для рассматриваемого цикла и параметров.

В результате проведенных исследований был рекомендован наиболее целесообразный холодильный агент для замены при исследуемых параметрах и цикла холодильной машины.