

**К.К. Комбаев<sup>1\*</sup>**, **Д.С. Еламанов<sup>1</sup>**,  
**А.Б. Касенова<sup>1</sup>**, **Д.С. Қамзин<sup>2</sup>**, **Г.М. Токтарбаева<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Қазақстан, Өскемен қ.

<sup>2</sup> «Өскемен өнеркәсіптік арматура зауыты» АҚ, Қазақстан, Өскемен қ.

\*e-mail: kombae82@mail.ru

## **ЭЛЕКТРОЛИТТИ-ПЛАЗМАЛЫҚ МОДИФИКАЦИЯДАН KEЙІН ТӨМЕН КӨМІРТЕКТІ БОЛАТТЫҢ БЕТКІ ҚАБАТЫНЫҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ-ФАЗАЛЫҚ ЖАҒДАЙЫ**

Төмен көміртекті легіріленген болатты электролитті плазмалық модификациямен нығайтудың балама технологиясы жасалды. 20X болат үлгілерін өңдеу эксперименттік қондырғыда жүргізілді, өңдеудің оңтайлы режимдері эмпирикалық түрде анықталды. Өңделген бетті модельдеу бөлшектерді электролитті плазмалық қыздыру кезінде қатайтумен қатар металдың беткі қабаттарының химиялық модификациясы жүреді деп болжауға мүмкіндік береді. Ұсынылған өңдеуге нақты уақытты қолданумен вольт температурасының сипаттамасы ұқсас болатты нығайтудың дәстүрлі әдістерімен салыстырмалы түрде қатайту уақытының едәуір төмендегенін айқын көрсетеді. Сондай-ақ, энергия шығыны едәуір төмендейді, сәйкесінше бөлшек пен өнімнің өзіндік құны. Электролит-плазмалық модификация ірі түйіршікті перлит-ферритті микроқұрылымды мартенситке айналдыруға ықпал етеді. Бастапқы күйге қатысты қаттылықтың жоғарылауы электролит-плазмалық өңдеуден кейін физика-механикалық қасиеттердің жоғарылауын көрсетеді. Электролитті-плазмалық өңдеу әдісінің артықшылығы жоғары беріктендіру жылдамдығы кезінде аз энергия шығындарынан, жер бетін жергілікті өңдеу мүмкіндіктерінен тұрады, балама электролитті-плазмалық беріктендіру үшін жартылай өнеркәсіптік қондырғы құруға алғышарттар бар. Ғылыми зерттеу нәтижелері электролитті плазмалық өңдеу нәтижесінде болаттың фазалық өзгеріске әкелетінін көрсетеді. Болаттың беткі қабаты көміртектен қанығатыны байқалады. Беткі қаттылықтың ұлғаюы металдың қолдану мерзімін ұлғайтатыны анық.

**Түйін сөздер:** электролитті-плазмалық модификация, мартенсит, микроқұрылым, қатаю, қаттылық.

K.K. Kombaev<sup>1\*</sup>, D.S. Elamanov<sup>1</sup>,  
A.B. Kassenova<sup>1</sup>, D.S. Kamzin<sup>2</sup>, G.M. Toktarbaeva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk

<sup>2</sup>Ust-Kamenogorsk Industrial Valves Plant JSC, Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk

\*e-mail: kombae82@mail.ru

### **Structural-phase state of the surface layer of low-carbon steel after electrolytic-plasma modification**

An alternative technology of strengthening by electrolytic-plasma modification of low-carbon alloy steel for the wedge columns binding for stop valves has been developed. The processing of steel 20X samples was carried out on an experimental installation, the optimal processing modes were determined experimentally. Simulation of the treated surface makes it possible to assume that during the electrolytic-plasma heating of parts, along with quenching, chemical modification of the metal surface layers occurs. The volt-temperature characteristic with the superposition of real time on the proposed processing clearly shows a significant reduction in the time for hardening, relative to traditional hardening methods of similar steel. Also, energy consumption and, accordingly, the cost of the part and the product as a whole are significantly reduced. Electrolyte-plasma modification promotes the transformation of coarse-grained pearlite-ferrite microstructure into quenched martensite. An increase in hardness relative to the initial state indicates an increase in physical and mechanical properties after electrolyte-plasma treatment. The advantage of the method of electrolytic-plasma treatment consists in low energy consumption at high quenching rates, the possibility of local surface treatment; there are prerequisites for creating a semi-industrial installation for an alternative electrolyte-plasma hardening.

**Key words:** Electrolyte-plasma modification, martensite, microstructure, hardening, hardness.

К.К. Комбаев<sup>1\*</sup>, Д.С. Еламанов<sup>1</sup>,  
А.Б. Касенова<sup>1</sup>, Д.С. Камзин<sup>2</sup>, Г.М. Токтарбаева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, Казахстан, г. Усть-Каменогорск

<sup>2</sup>АО «Усть-Каменогорский завод промышленной арматуры», Казахстан, г. Усть-Каменогорск

\*e-mail: KOMBAEV82@MAIL.RU

### Структурно-фазовое состояние поверхностного слоя низкоуглеродистой стали после электролитно-плазменной модификации

Разработана альтернативная технология упрочнения электролитно-плазменной модификацией низкоуглеродистой легированной стали обвязки колонн клиновых для запорной арматуры. Обработку образцов стали 20Х проводили на экспериментальной установке, опытным путем определили оптимальные режимы обработки. Моделирование обработанной поверхности дает возможность предположить, что при электролитно-плазменном нагреве деталей наряду с закалкой происходит химическая модификация поверхностных слоев металла. Вольт-температурная характеристика с наложением реального времени на предлагаемую обработку наглядно показывает о значительном снижении времени на упрочнение, относительно традиционными методами упрочнения аналогичной стали. Также значительно снижаются энергозатраты и, соответственно, себестоимость детали и изделия в целом. Электролитно-плазменная модификация способствует превращению крупнозернистой перлитно-ферритной микроструктуры в мартенсит закалки. Увеличение твердости относительно исходного состояния свидетельствует о повышении физико-механических свойств после электролитно-плазменной обработки. Преимущество способа электролитно-плазменной обработки состоит в малых энергозатратах при больших скоростях закалки, возможности локальной обработки поверхности, имеются предпосылки для создания полупромышленной установки для альтернативного электролитно-плазменного упрочнения. Результаты исследования свидетельствуют о фазовом превращении стали, модификации поверхности углеродом, а также о повышении твердости, что, несомненно, приведёт к повышению долговечности.

**Ключевые слова:** электролитно-плазменная модификация, мартенсит, микроструктура, упрочнение, твердость.

### Кіріспе

Қазақстандық машина жасау саласының алдында тұрған маңызды мәселе – инновациялық технологияларды енгізу және машина жасау кешенін жедел жаңғырту. Қазақстанның машина жасау құрылымында ішкі сұранысты қамтамасыз ететін тау-кен металлургия және мұнай-газ секторы үшін өнім өндірісі басым [1]. Қазақстанның машина жасау кәсіпорындарының бір бағыты құбыр арматурасын және мұнай кәсіпшілігі жабдықтарын өндіру болып табылады. Бекіту арматурасының номенклатурасы механикалық өңдеу арқылы жасалады, корпус бөліктері дәнекерленген-штампталған құрылымды білдіреді, сондықтан көп жағдайда төмен көміртекті легіріленген болаттар қолданылады. Сына бағаналарының байламдары – оларды ілу, олардың арасындағы сақиналық кеңістікті герметизациялау және ондағы қысымды бақылау мақсатында іргелес бағандардың жоғарғы ұштарын байлауға арналған. Мұнай айдау процесінде сына бағаналарының жабдықтарын (СБЖ) байлау жоғары түйіспелі кернеулерге және сокқы-шаршау тозуына ұшырайды. 20Х төмен көміртекті бо-

латтан (МЕМСТ 33260-2015) жасалған СБЖ плашкаларын беріктендіру дәстүрлі тәсілмен – электр пештерінде кейіннен шынықтыра отырып, қатты карбюраторда (ағаш көмір) цементтеумен қамтамасыз етіледі [2]. Алайда, бұл процесс жоғары жылу шығындарымен, ПӘК төмендетумен, үлкен уақыт шығындарымен (әсіресе пешті қажетті температураға дейін қыздырғанда), жоғары энергия тұтынумен (қуат шығыны 60-100 кВт құрайды) ілесіп жүреді [3]. Көміртектің ену жылдамдығы төмен, ал тереңдігі 1-2 мм, карбюратордағы дайындаманы белгілі бір температурада 8-10 сағат қыздыру қажет, содан кейін қатайтылады [4]. Қазіргі уақытта термиялық, механикалық-термиялық өңдеудің дәстүрлі әдістерімен қатар жоғары энергиялы жергілікті қатайту әдістері кеңінен қолданылуда. Ұсынылған жұмыста мұнай-газ арматурасына арналған төмен көміртекті болатты диффузиялық қанықтырудың электролитті-плазмалық процесі қарастырылған. Қанықтыру ұзақтығы бірнеше минутты алады және қайта қыздырусыз сол электролитте сөндірумен оңай үйлеседі.

Жұмыстың мақсаты – әзірленген режимді қолдана отырып, төмен көміртекті легіріленген

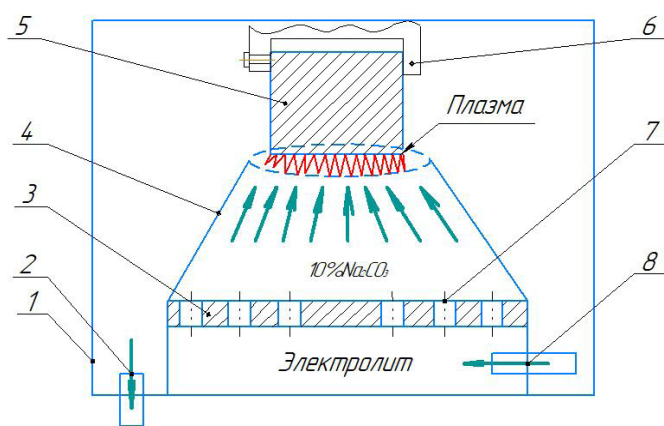
болаттың электролитті-плазмалық модификациясының (бұдан әрі – ЭПМ) өңделетін беттің өнімділігіне, өңдеу тиімділігіне, сапасына, сондай-ақ құрылымы мен қасиеттеріне әсерін зерттеу.

### Тәжірибенің материалдары, жабдықтары және әдістемесі

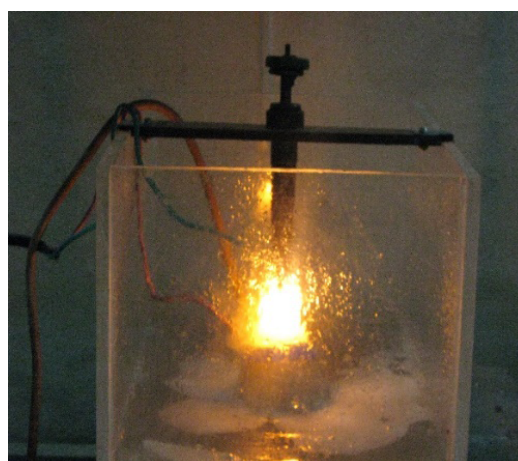
ЭПМ орындау үшін 1 диэлектрик жұмыс ваннасын, диаметрі 2 мм 7 көлденең тесіктері бар цилиндрлік пластина түріндегі 3 анод қамтитын арнайы әзірленген тәжірибелік қондырғы 1а-суреті қолданылды [5]. Анод 4 конустық саптамаға салынған, ал 5 катод ретінде қатайтылған үлгі/бөлік қолданылады. Резервуардан 8 штуцер арқылы 4 саптамаға 10% кальцийленген сода электролит беріледі. Кері берілісті өңдеу

кезінде резервуарға 2 түтік арқылы айналады. Қуат көзі катод пен сұйық электролит арасында қосылған кезде бу-газ қабығы пайда болады, ол пленкалы қайнатумен бірге жүреді [6]. Осы қысқа уақыт аралығында электролиттің құрамдас бөліктері иондалады және электролит плазмасы қозғалады, 1б-суреті. Өздеріңіз білетіндей, плазманың температурасы құрылымдық фазалық өзгеру температурасынан едәуір асады, сондықтан біз электролитті-плазмалық өңдеу режимдерін тәжірибелік жолмен анықтадық. Сөндіру электролит ағынында жүзеге асырылады, циклдік өңдеу кезінде жақсы нәтижеге қол жеткізіледі [7].

Зерттеулер 20Х болаттан жасалған үлгілерінде (с 0.17-0.23%; Si 0.17-0.37%; Mn 0.5-0.8%; Cr 0.7-1.0%, МЕМСТ 33260-2015), өлшемдері 10x10x25 мм, жүргізілді.



а) ЭПМ саптама сұлбасы



б) ЭПМ қондырғысы

1 жұмыс ваннасы; 2 электролитті кері беруге арналған түтік; 3 анодты платина; 4 конусты саптама; 5 катод – үлгі/бөлік; 6 қысқыш механизмі; 7 анодтағы тесіктер; 8 электролитті беруге арналған штуцер.

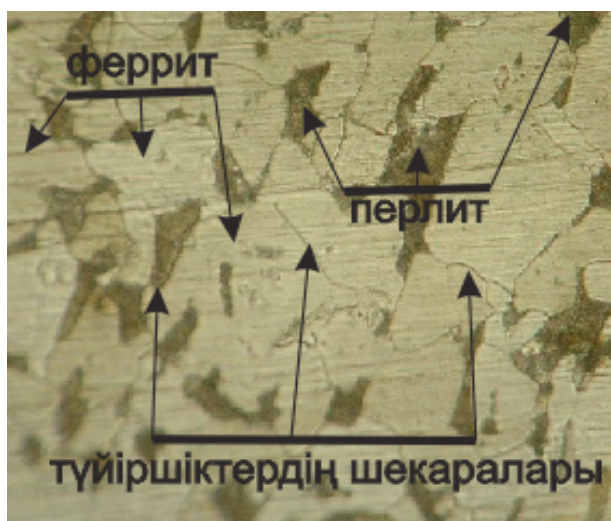
1-сурет – Зерттеу жүргізуге арналған тәжірибелік қондырғы

Металлографиялық талдауға, электронды микроскопиялық зерттеулерге арналған үлгілер алдын-ала тегістеуден, жылтыратудан және өңдеуден өтті. Осы мақсаттар үшін өңделген үлгілер жуудан және кептіруден кейін эпоксидті шайырман пластиктен немесе металдан жасалған қалыпқа құйылып, айна жылтырына дейін тегістеліп, жылтыратылды. Одан әрі болат үлгілерінің жылтыратылған беті: 5-7 С ішінде этил спиртіндегі азот қышқылының 5% ерітіндісімен (Курпатов реактиві) өңделді [8].

Дәрілену дәрежесі микроскопта этил спиртімен бекітумен және ағынды суда жуумен бақыланды. Субстратты металлографиялық зерттеу «Sony» сандық камерасы бар «Axioscop – 2MAT» шағылысқан жарықтың инверттелген фотомикроскопында жүргізілді [9]. Қаттылықты өлшеу СТ СЭВ 469-77 және ИСО 6508-86 талаптарына сәйкес Роквелл әдісі бойынша жүргізілді. Индикатор ретінде 120° бұрышпен конустық алмаз ұшы қолданылды, мәні 0,5 қаттылық бірлігіне дейін дөңгелектенді [10].

## Тәжірибелік нәтижелер және оларды талқылау

Бастапқы (ыстықтай илектелген) күйде болаттың 20X микроқұрылымы ірі түйірлі перлит-феррит құрылымын білдіреді (2-сурет). Феррит және перлит түйірлерінің формалары цементит фазасын құрайтын темір карбидінің жұқа қабығымен жабылған. Хромның легірлеуші элементтері болаттың бүкіл көлемінде ұсақ дисперсті үлестірімге ие. Төмен көміртекті болаттарда феррит басым болады, ал перлит түйірлері аз үлесті құрайды. Пешпен (баяу және ұзақ) қыздыру кезінде перлит дәндерінде шоғырланған көміртек диффузия нәтижесінде металдың бүкіл көлеміне біркелкі таралады [11]. Оның концентрациясы перлит дәндеріндегі концентрациямен салыстырғанда (0,8%) 0,1–0,2% маркалы мәнге дейін төмендейді [12]. Бұл төмен көміртекті болаттардың пешті қыздырудан қатайту кезінде тиімді қатаюына жол бермейді.



2-сурет – 20X болаттың микроқұрылымы бастапқы күйінде, оптикалық микроскопия, x 200

Сондықтан, төмен көміртекті легірленген болаттан жасалған ОКК плашкаларын нығайту үшін қатты карбюризаторда көміртекпен цементтеу арқылы беттік қанықтыру жүзеге асырылады, содан кейін қатайтылады [13]. Бұл термиялық өңдеу процесі өте ұзақ, уақытты қажет ететін және энергияны қажет етеді.

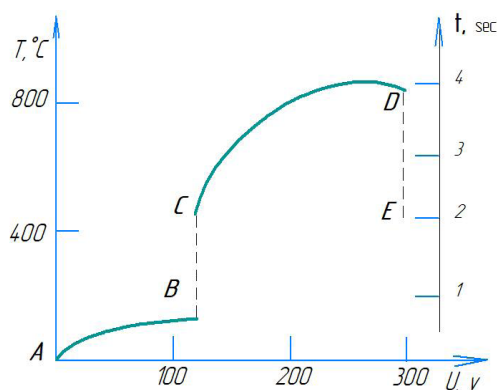
Плазмалық қатайту технологияларын дамыту төмен көміртекті болаттарды нығайту туралы қалыптасқан көзқарастарды қайта қарауға

мүмкіндік береді. ЭПМ процестері бір цикл процесінің нақты уақытын қолдана отырып, вольт-температуралық сипаттамамен жақсы сипатталады (3-сурет). Егер резервуардан сап-тамаға және жұмыс ваннасы арқылы электролит бөлме температурасында, шамамен 20°C айналғанын ескерсек, онда плазма бірнеше секундта қоздырылды [13]. Төмен кернеулерде (AB бөлігі) электролитке батырылған катод қарсылықты сезінеді. Үлгінің кедергісін оқшаулау есебінен кернеудің артуы электролитпен жанасу аймағында ерітіндінің қайнағанға дейін қызуына және тоқтың үзілуінің туындауына (эк учаскесі) әкеледі. Қисықтың осы бөлігінде конденсацияның мерзімді процестеріне және катод/дайындаманың айналасында бу қабатының пайда болуына байланысты тоқтың импульсті сипаты байқалады [14]. Бұл жағдайда жарылумен және жарқылмен бірге ұшқынның пайда болуы тән. С нүктесіндегі электролитті плазма тұрақтылыққа ие болады және температура жоғарылайды, жүйе қыздыру режиміне өтеді (CD бөлімі). Бұл жағдайда электролитті плазма бөлінетін қуаттың артуына байланысты кернеудің 150-200 В дейін жоғарылауымен температура жоғарылайды [15].

DE бөлігі үшін электролиттің салқындауынан туындаған катод температурасының күрт төмендеуі тән. ЭПО процесінің ең маңызды сипаттамалары температура мен қыздыру жылдамдығы болып табылады. Қыздырудың жоғары жылдамдығы ЭӨҰ-ны химиялық-термиялық өңдеудің жылдам тәсілдеріне жатқызады [16]. Сонымен, тұрақты кернеу мәні бар ЭПО катодтық нұсқасы үшін бөліктің қыздыру жылдамдығы 200 градус/с дейін жетеді [17], ал анод үшін – 250 градус/с дейін [18]. Қыздыру температурасы негізінен қолданылатын кернеудің мөлшеріне, электродтың мөлшеріне, электролиттің температурасы мен жылдамдығына байланысты. Анод температурасының жылу режимінде қолданылатын кернеудің шамасына тәуелділігі [18]. Анод диаметрінің ұлғаюы тұрақты кернеу кезінде оның температурасының төмендеуіне әкеледі, ал биіктіктің жоғарылауы (батыру тереңдігі), керісінше, температураның жоғарылауына әкеледі [19]. Бұл жүйеде жылу ағындарының таралу ерекшеліктеріне байланысты. Сонымен, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ерітіндісіндегі плитадан үлгіні қыздырудың максималды температурасы электролиттің ең төменгі температурасында, ал ең төменгі қыздыру температурасы электролиттің ең жоғары температурасында болды.



Дәл осы режимде үлгі/бөлік 840-860°C температураға дейін қызады, яғни 20X болаттың катодты фазалық түрленуі үшін жеткілікті [20].

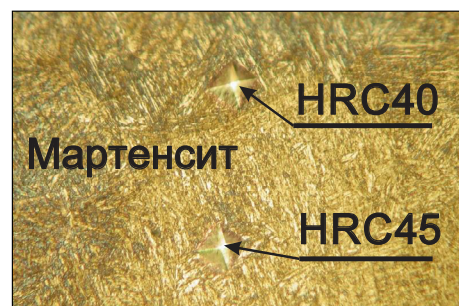


**3-сурет** – Бір цикл уақыт интервалындағы ЭПМ вольт-температуралық сипаттамасы

Өндірістік жағдайларда аз көміртекті болаттың бетін көміртекпен қанықтыру және ұқсас микроқұрылым үлкен энергия шығындарымен едәуір ұзақ уақыт аралығында алынады [21]. Айта кету керек, ЭПМ циклдік өңдеу арқылы жүзеге асырылды, барлығы 4 минут ішінде. Плазмалық қыздыру аралығы 4 секундты құрайды, электролит ағынындағы сөндіру 4 секундты құрайды және тиісінше циклдар саны 30-ға тең [22]. Бұрынырақта ЭПМ өндеудің оңтайлы режимдерін тәжірибелік анықтау және электролит пен анодтың  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  компоненттерінің ыдырау иондарынан металды көміртегімен қанықтыру туралы зерттеулер жарияланды. Болаттың көміртегімен және басқа элементтермен диффузиялық қанығуы тек электролиттен ғана емес, сондай-ақ біз 12X18H10T тот баспайтын болатты пайдаланған анод элементтерінен де мүмкін [23].

Катод бетіндегі электр өрісінің көміртегі аниондарының берілуіне оң әсері туралы гипотезалар бар (5-сурет). ЭПМ үшін электролиттер құрамына қойылатын талаптар бірнеше шарттармен анықталады. Ең алдымен, бөлшектердің тиімді көміртегі диффузиясы үшін жеткілікті температураға дейін қызуын қамтамасыз ету қажет. Шешім ЭПМ құруды қамтамасыз ететін ең аз электр өткізгіштікке ие болуы керек. Әр

Электролитті-плазмалық модификациямен өңделген 20X болат үлгісінің микроқұрылымы шыңдаудың инелі мартенситінің болуын куәландырады (4-сурет).



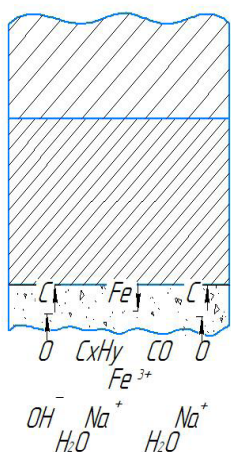
Көрсеткішпен іздер мен қаттылық мәндері көрсетілген, x 200.

**4-сурет** – 20X болаттың электролитті-плазмалық модификациядан кейінгі жоғары бетінің микроқұрылымы,  $U = 200 \text{ В}$ ,  $t = 4 \text{ мин}$ .

түрлі электролиттердің қанықтыру қабілеті көміртегі бар компоненттердің ыдырау реакцияларымен және осы ыдырау өнімдерінің өңделген бетке адсорбциясымен анықталады [24].

Электролит айналымының жылдамдығы араластыру және салқындату қарқындылығын, үлгінің қатаюын анықтайды [25]. Конустық саптамадағы гидродинамикалық жағдайларға байланысты катодты аймақтағы жылу алмасу заңдылықтары қаныққан компоненттердің шығарылатын өнімнің бетіне шығарылуы мен берілуінің ерекшеліктеріне айтарлықтай әсер етеді. Бұл заңдылықтар электролиттердің құрамына да байланысты, олар өңдеу режимдерімен бірге ЭПМ кейін алынған материалдардың қасиеттерін анықтайды.

Плазманың жоғары концентрацияланған температурасы көміртектің жоғары концентрациясы бар карбид бөлшектерінің субстратына өтетін беткі қабаттың шамалы қабатын құрайды (5-сурет). Электролит ағынындағы циклдік қатаю болаттың микроқұрылымына термиялық әсер ету аймағын жасайды. Бұл аймақта жұқа инелі мартенситтің пайда болуымен фазалық өзгеріс жүреді. Учаскелердің айқын шекаралары жоқ, бірақ қатайған қабаттың жалпы тереңдігі 2 мм-ге жетеді, ол бастапқы перлит-феррит құрылымына біртіндеп өтеді [26].



Бастапқы ірі түйірлі перлит-ферритті микроқұрылымы, HB222-231~ HRC21-22 (МЕМСТ 23677-79).

Көміртегі мен азот иондарымен белсенді қаныққан плазма температурасынан термиялық әсер ету учаскесі. Микроқұрылым инелі мартенсит болып табылады, HRC 40-45.

Оксидті қабық

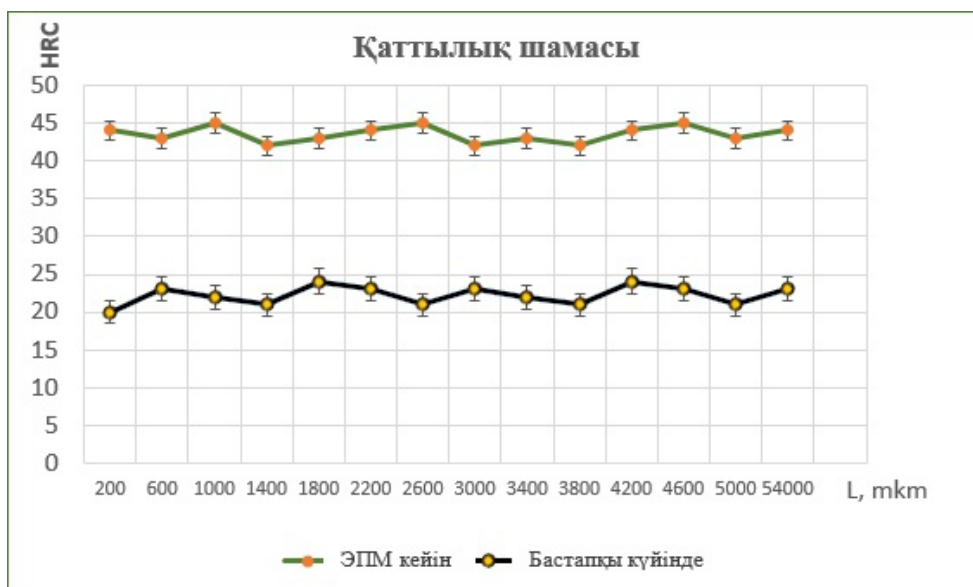
Электролитті плазма, температурасы 1000-6000 К бастап.

5-сурет – Үлгі/бөлшек бетінің электролит-плазмалық модификация моделі

Қолданылатын кернеуді өзгерте отырып, үлгінің аз мөлшерін ескере отырып, катодтың температурасын тез басқаруға болады – өңделген өнім 400-ден 1100 °С-қа дейін [27], бұл температураның қолданылатын кернеудің шамасына сызықтық тәуелділігімен сипатталады [28]. Электролит-плазмалық қыздырудың жоғары жылдамдығы үлгінің/бөліктің берілген температурасына жету уақытын қысқартып қана қоймайды, сонымен қатар процестің кейбір кезеңдеріне жағымды әсер ете отырып, диффузиялық қабаттардың пайда болуын тездетеді. Баяу қыздыру астықтың өсуіне жағдай жасайды, ал жоғары жылдамдықта

диффузияны тездету үшін температураның жоғарылауы мүмкін.

Роквелл қаттылығын өлшеу нәтижелері HRC20-24 бастапқы мәніне қатысты беттік қаттылықтың HRC 41-45-ке дейін жоғарылауын анықтады (6-сурет). ЭПМ өндегеннен кейін қаттылықтың таралуы 20X болаттағы көміртегі концентрациясының таралуымен толығымен байланысты және электролиттердің қанықтыру қабілетіне сәйкес келетін эвтектоидты болатқа сәйкес келеді [29]. Бұл көміртектің максималды жалпы концентрациясына байланысты, ол қаныққан температурада аустенитте қаныққан ерітінді және қатаюдан кейін мартенсит түзеді.



6-сурет – 20X болат бетінің қаттылығының салыстырмалы графигі

Құрамында 10% кальцийленген сода бар электролиттегі құрылымдық болаттардың катодты циклдік қатаюы 840-860 °С температурада 4 минут ішінде олардың қаттылығын 2 есе арттыруға мүмкіндік береді, бұл кейіннен қатайтумен қатты карбюризаторда цементтелгеннен әлдеқайда аз. Сонымен қатар, термиялық өңдеу уақытын азайту мүмкіндігі көрсетілген, бұл өз кезегінде өнеркәсіптік пешті жылытуға энергия шығынын азайтады және тұтастай алғанда бөлшектерді өндірудің өзіндік құнын төмендетеді.

Тесіп өтетін қыздыруды болдырмау және сынғыштықты арттыру үшін электролит ағындарымен фазалық түрлендіру температурасына дейін циклдық шындаумен ЭПМ жүргізу ұсынылады, ол тәжірибелік жолмен анықталған және эксперименттерді жоспарлау есебімен расталған [30].

Осылайша, дамыған ЭПМ технологиясы зерттеушілерді қызықтырады, өйткені физика-механикалық қасиеттердің көрсеткіштері болатты қатайтудың дәстүрлі әдістерінен еш кем түспейді. Жаңа технологияны енгізу электролиттік-плазмалық шынығу табиғаты туралы жаңа ақпарат алуға мүмкіндік береді. Практикалық қолдану тұрғысынан ЭПМ механизмі электролиттердің өңдеу режимдері мен құрамын

дұрыс таңдау үшін, сондай-ақ қажетті жабдықты құру үшін қажет.

### Қорытынды

1. ЭПМ нақты уақыт қабаттасуымен Вольт-температуралық сипаттамасы дайындаманың жоғары температуралы электролиттік плазмадан қыздыру уақыты 4 минутты құрайтындығын көрсетеді, бұл дәстүрлі цементтеуге, содан кейін қатайтуға кететін уақыттан едәуір аз.

2. Үлгі бетінің үлгі сұлбасы беткі қабатта оксид пленкасының таяз қабаты пайда болатындығын, көміртектен қаныққан маргенситті қатайтылған қабат бастапқы перлит-феррит құрылымына біртіндеп ауысатындығын көрсетеді.

3. 20x болат үлгісінің беттік қаттылығының ЭПМ кейін бастапқы күйіне қатысты 2 есе жоғарылауы анықталды.

### АЛҒЫС

Мақала ЖТН АР09058518 «Машина жасау саласында электролиттік-плазмалық модификациялаумен материалдардың тозуға төзімділігін арттыру» гранттық жобаны жүзеге асыру аясында «ҚР БҒМ Ғылым комитеті» қаржылық қолдауымен жазылды.

### Әдебиеттер

- 1 Бондарев А.А., Тюрин Ю.Н., Погребняк А.Д., Колисниченко О.В., Дуда И.М. Влияние обработки импульсной плазмой и электронным пучком поверхности износостойких покрытий на основе Ni на их функциональные свойства // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2012. – № 4. – С. 16-20.
- 2 Doudkin M., Kombayev K., Kim A.I., Azamatov B., Azamatova Zh. Research of cutting temperature reducing of titanium alloy grade 5 below polymorphic transformation depending on calculation of cutting modes //International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD). – 2020. – Vol. 10, Iss.2. – P. 747–758.
- 3 Геллер Ю.А., А.Г. Рахштаг. Материаловедение. – Изд. 6-е, перераб. и доп. – М.: «Металлургия», 1989. – 456 с.
- 4 Погребняк А.Д., Кульментьева О.П. и др. Процессы массопереноса и легирования при электролитно-плазменной обработке чугуна // Письма в ЖТФ. – 2003. – Т. 29, вып. 8. – С. 2-6.
- 5 Kombayev K.K., Doudkin M.V., Kim A.I., Mlynczak M., Rakhadilov B.K. Surface hardening of the aluminum alloys Al3 by electrolytic-plasma treatment //News Of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. – 2019. – Vol. 4, No 436. – P. 222 – 229.
- 6 Способ электролитно-плазменного упрочнения деталей бурового долота: пат. 23178 РК: МПК C21D1/78 (2009.01), C21D 1/34 (2009.01).
- 7 Rakhadilov B.K., Sagdoldina Zh.B., Ocheredko I.A., Kombayev K.K. Khasenov A.K. Impact research of electron beam processing on the structure and properties of PA6 polyamide //Eurasian Physical Technical Journal, Materials science. – 2019. – Vol.16, №2 (32). – P.43-47.
- 8 Kozha E., Smagulov D.U., Akhmetova G.E., Kombayev K.K. Laboratory installation for electrolytic-plasma treatment of steel //NEWS of national academy of sciences of the republic of Kazakhstan. –2017. – Vol. 4(424). – P. 219-225.
- 9 Jiang Y.F., Bao Y.F., Yang K. Effect of C/N concentration fluctuation on formation of plasma electrolytic carbonitriding coating on Q235 //Journal of Iron Steel Research. – 2012. – Vol. 19, No 11. – P. 39-45.
- 10 Wu J., Xue W., Wang B. et al. Characterization of carburized layer on T8 steel fabricated by cathodic plasma electrolysis // Surface and Coatings Technology. – 2014. – Vol. 245. – P. 9-15.
- 11 Wang B., Xue W.B., Wu J., Jin X.Y. and Hua M.Characterization of surface hardened layers on Q235 low-carbon steel treated by plasma electrolytic borocarbonitriding //Journal of Alloys and Compounds. – 2013. – No 578. – P. 162-169.

- 12 Тюрин Ю.Н., Погребняк А.Д. Особенности электролитно-плазменной закалки (ЭПЗ) //Журнал технической физики. – 2002. – Т. 72, вып. 11. – С. 119-120.
- 13 Alavi S.H., Dehghanian C., Taheri P. Investigation of corrosion behaviour of carbon steel coated by pulsed plasma electrolytic boronising technique in 35 wt-% NaCl aqueous solution //Surface engineering. – 2011. – No 27. – P. 509-514.
- 14 Wang B., Jin X.Y., Xue W.B., Wu Z.L., Du J.C., Wu J. High temperature tribological behaviors of plasma electrolytic borocarbonized Q235 low-carbon steel //Surface and Coatings Technology. – 2013. – No 232. – P. 142-149.
- 15 Wu J., Xue W., Jin X. et al. Preparation and characterization of diamond-like carbon/oxides composite film on carbon steel by cathodic plasma electrolysis // Applied Physics Letters. – 2013. – Vol. 103. – P. 031905.
- 16 Jiang Y.F., Bao Y.F., Yang K. Effect of C/N concentration fluctuation on formation of plasma electrolytic carbonitriding coating on Q235 // Journal of Iron Steel Research. – 2012. – Vol. 19. – No 11. – P. 39-45.
- 17 Jiang Y.F., Geng T., Bao Y.F., Zhu Y. Electrolyte-electrode interface and surface characterization of plasma electrolytic nitrocarburizing //Surface and Coatings Technology. – 2013. – Vol. 216. – P. 232-236.
- 18 Kong J.H., Takeda T., Okumiya M. et al. The Study about Surface Modification of Steel by Water Plasma //13th Intern. Conf. on Plasma Surface Engineering, September 10-14 in Garmisch-Partenkirchen, Germany. – 2012. – P. 157-160.
- 19 Скаков М.К., Курбанбеков Ш.П. Исследование коррозионной стойкости и фазового состава поверхностных слоев стали 12Х18Н10Т после плазменной нитроцементации и азотирования //Вестник Казахстанского национального технического университета. – 2013. – № 4.
- 20 Скаков М.К., Рахадиллов Б.К. Влияние электролитно-плазменной обработки на структуру, фазовый состав и микротвердость стали Р6М5 //Вестник Казахстанского национального технического университета. – 2012. – № 3.
- 21 Скаков М.К., Рахадиллов Б.К., Батырбеков Э.Г. и др. Влияние режимов электролитно-плазменного азотирования на структурно-фазовое состояние и износостойкость стали Р6М5 //Вестник Казахстанского национального технического университета. – 2014. – № 3.
- 22 Zarchi M.K., Shariat M.H., Dehghan S.A., Solhjo S. Characterization of nitrocarburized surface layer on AISI 1020 steel by electrolytic plasma processing in an urea electrolyte //Journal of Materials Research and Technology. – 2013. – Vol. 2. – No 3. – P. 213-220.
- 23 Jiang Y.F., Bao Y.F., Yang K. Effect of C/N concentration fluctuation on formation of plasma electrolytic carbonitriding coating on Q235 // Journal of Iron Steel Research. – 2012. – Vol. 19. – No 11. – P. 39-45.
- 24 Rastkar A.R., Shokri B. Surface modification and wear test of carbon steel by plasma electrolytic nitrocarburizing //Surface and Interface Analysis. – 2012. – No 44. – P. 342-351.
- 25 Tavakoli H., Mousavi Khoie S.M., Marashi S.P., Bolhasani O. Effect of Electrolyte Composition on Characteristics of Plasma Electrolysis Nitrocarburizing //Journal of Materials Engineering and Performance. – 2013. – Vol. 22. – No 8. – P. 2351-2358.
- 26 Tavakoli H., Mousavi Khoie S.M., Marashi S.P.H., Hosseini S.A. Mogadam Characterization of submicron-size layer produced by pulsed bipolar plasma electrolytic carbonitriding //Journal of Alloys and Compounds. – 2014. – No 583. – P. 382-389.
- 27 Pang H., Zhang G.-L., Wang X.Q., Lv G.-H., Chen H., Yang S.-Z. Mechanical Performances of Carbonitriding Films on Cast Iron by Plasma Electrolytic Carbonitriding //Chinese Physics Letters. – 2011. – Vol. 28. – No 11. – Art.No 118103.
- 28 Mahzoon F., Behgozin S.A., Bahrololoom M.E., Javadpour S. Study the fatigue-wear behavior of a plasma electrolytic nitrocarburized (PEN/C) 316L stainless steel //Journal of Materials Engineering and Performance. – 2012. – Vol. 21. – No 8. – P. 1751-1756.
- 29 Kumruoglu L.Cenk, Yerokhin A., Ozel A., Matthews A. Effect of nitrogen gas addition onto the process of plasma electrolytic nitrocarburizing of AISI 316L stainless steel //Proceed. 1st ISTS International Surface Treatment Symposium, Istanbul. – 2011. – P. 295-310.
- 30 Lin N., Xie R., Zhou P., Ma Y., Wang Z., Han P., Wang Z., Tang B. Review on improving wear and corrosion resistance of steel via plasma electrolytic saturation //Surface Review and Letters. – 2016. – Vol. 23. – No 4. – Art.No 1630002.

## References

- 1 A.A. Bondarev, Yu.N.Tyurin, A.D.Pogrebnyak, O.V. Kolisnichenko and I.M. Duda, Uprochnyayushchiye tekhnologii i pokrytiya, 4, 16-20 (2012). (in Russ).
- 2 M.B. Doudkin, K.K. Kombayev, A.I. Kim, B.N. Azamatov and Zh.Zh. Azamatova, IJMPERD, 10, 747–758 (2020).
- 3 Yu.A. Geller and A.G. Rakhshat, Materials Science, 456 (1989). (in Russ).
- 4 D. Pogrebnyak and O. P. Kulmenteva, Technical Physics Letters, 8, 2-6 (2003). (in Russ).
- 5 K.K. Kombayev, M.V. Doudkin, A.I. Kim, M. Mlynczak and B.K. Rakhadilov, News Of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan, 4(436), 222 – 229 (2019)
- 6 Method of electrolyte-plasma hardening of drill bit parts: pat. 23178 RK: IPC C21D1 / 78 (2009.01), C21D 1/34 (2009.01). (in Russ).
- 7 B.K. Rakhadilov, Zh.B. Sagdoldina, I.A. Ocheredko, K.K. Kombaev and A.K. Khassenov, Eurasian Physical Technical Journal, (32),43-47(2019).
- 8 E. Kozha, D.U. Smagulov, G.E. Akhmetova and K.K. Kombaev, News of national academy of sciences of the republic of Kazakhstan, 4(424), 219-225 (2017).
- 9 Y.F. Jiang, Y.F. Bao and K. Yang, Journal of Iron Steel Research, 11, 39-45 (2012).
- 10 J. Wu, W. Xue and B. Wang, Journal of Alloys and Compounds, 245, 9-15 (2014).
- 11 B. Wang, W.B. Xue, J. Wu, X.Y. Jin and M. Hua, Journal of Alloys and Compounds, 578, 162-169 (2013).



- 12 Yu.N. Tyurin and A.D. Pogrebnnyak, *Journal of Technical Physics*, 72 (11), 119-120 (2002). (in Russ).
- 13 S.H. Alavi, C. Dehghanian and P. Taheri, *Surface engineering*, 27, 509-514 (2011).
- 14 B. Wang, X.Y. Jin, W.B. Xue, Z.L. Wu, J.C. Du and J. Wu High, *Surface and Coatings Technology*, 232, 142-149 (2013).
- 15 J. Wu, W. Xue, X. Jin, *Applied Physics Letters*, 103, 031905 (2013).
- 16 Y.F. Jiang, Y.F. Bao, K. Yang, *Journal of Iron Steel Research*, 19(11)39-45(2012)
- 17 Y.F. Jiang, T. Geng, Y.F. Bao and Y. Zhu, *Surface and Coatings Technology*, 216, 232-236 (2013).
- 18 J.H. Kong, T. Takeda and M. Okumiya, *13th International Conference on Plasma Surface Engineering*, Germany, 157-160 (2012).
- 19 M.K. Skakov and Sh.R. Kurbanbekov, *Bulletin of the Kazakhstan National Technical University*, 4 (2013). (in Russ).
- 20 M.K. Skakov and B.K. Rakhadilov, *Bulletin of the Kazakhstan National Technical University*, 3 (2012). (in Russ).
- 21 M.K. Skakov, B.K. Rakhadilov and E.G. Batyrbekov, *Bulletin of the Kazakhstan National Technical University*, 3 (2014). (in Russ).
- 22 M.K. Zarchi, M.H. Shariat, S.A. Dehghan and S. Solhjoo, *Journal of Materials Research and Technology*, 3, 213-220(2013).
- 23 Y.F. Jiang, Y.F. Bao and K. Yang, *Journal of Iron Steel Research*, 19, (11), 39-45 (2012).
- 24 A.R. Rastkar and B. Shokri, *Surface and Interface Analysis*, 44, 342-351 (2012).
- 25 H. Tavakoli, S.M. Mousavi Khoie, S.P. Marashi, O. Bolhasani, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 22(8), 2351-2358 (2013).
- 26 H. Tavakoli, S.M. Mousavi Khoie, S.P.H. Marashi and S.A. Hosseini Mogadam, *Journal of Alloys and Compounds*, 583, 382-389 (2014).
- 27 H. Pang, G.-L. Zhang, X.Q. Wang, G.-H. Lv and H. Chen, S.-Z., *Chinese Physics Letters*, 28 (11), 103-118 (2011).
- 28 F. Mahzoon, S.A. Behgozin, M.E. Bahrololoom and S. Javadpour, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 21 (8), 1751-1756 (2012).
- 29 L. Cenk Kumruoglu, A. Yerokhin, A. Ozel and A. Matthews, *1st ISTS International Surface Treatment Symposium*, Istanbul, 295-310 (2011).
- 30 N. Lin, R. Xie, P. Zhou, Y. Ma, Z. Wang, P. Han, Z., *Surface Review and Letters*, 23 (4), 163-200 (2016).