

К.К.Комбаев<sup>1</sup>, Р.Б. Ахмадиев<sup>2</sup>, А.Б. Касенова<sup>1</sup>, Д.С.Елеманов<sup>1</sup>, Г.М.Токтарбаева<sup>1</sup>,  
Г.С. Сыпайнова<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Өскемен өнеркәсіптік арматура зауыты АҚ, Өскемен, Қазақстан

E-mail: [Kombae82@mail.ru](mailto:Kombae82@mail.ru), [Rustr77@mail.ru](mailto:Rustr77@mail.ru), [baurzhan.bota95@mail.ru](mailto:baurzhan.bota95@mail.ru), [atonai2009@mail.ru](mailto:atonai2009@mail.ru), [manatkyzy.gaukhar@mail.ru](mailto:manatkyzy.gaukhar@mail.ru), [Gylden84@mail.ru](mailto:Gylden84@mail.ru)

## Сына бағаналарының жабдықтарының 20X болатты электролиттік-плазмалық шынықтыру арқылы беріктендіру

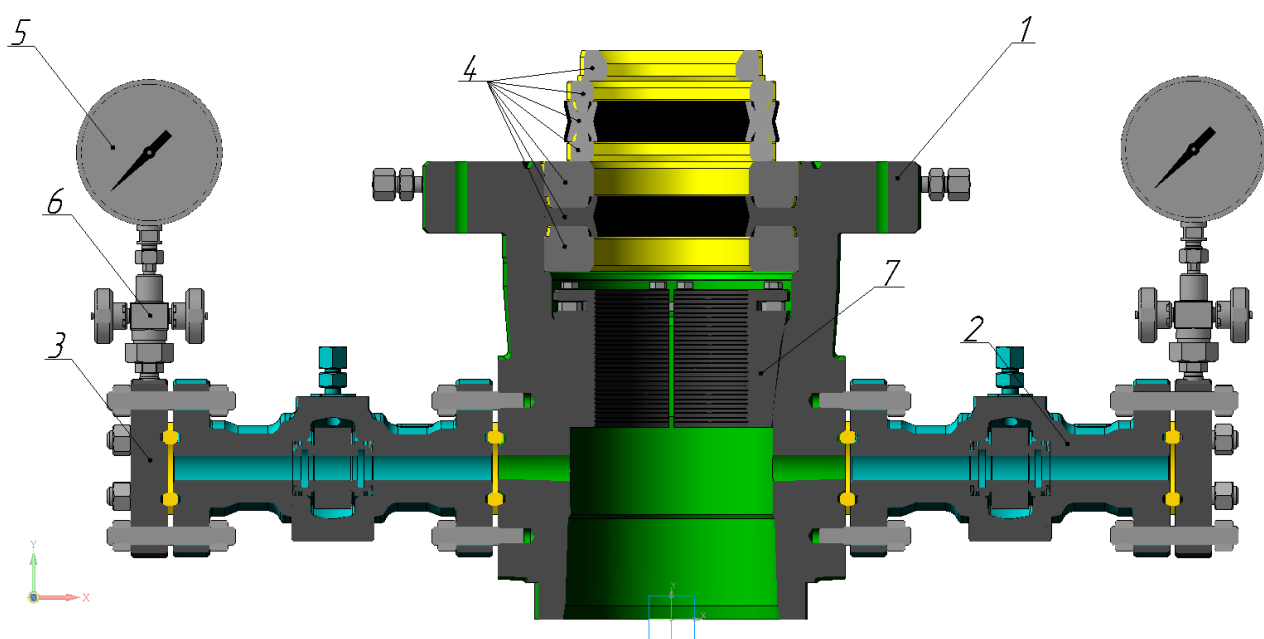
**Аңдатпа.** Мұнай-газ өнімдеріне әлемдік сұраныс мұнай өнімдерін өндіруге және тасымалдауға арналған бөлшектер мен жабдықтарды өндіруде қолданылатын технологиялық процестерде айтарлықтай сапалық және саңдық өзгерістер тудырды. Қазақстан әлемдегі ең ірі мұнай өндіруші ел болып табылады, сондықтан мұнай-газ жабдықтарын өндірудің ілгерінді технологиясын дамыту өнеркәсіптік және экономикалық өсуді ынталандыруы мүмкін. Сына бағаналарының (СБ) маңызды бөлшектерін беріктендірудің дәстүрлі технологиялары көптеген өнеркәсіптік кәсіпорындарда қолданылатынына қарамастан, көп энергияны және көп уақытты қажет етеді. Төмен көміртекті легіріленген плашканы химиялық-термиялық беріктендіруді ғылыми зерттеу үшін 20X болаттан, МемСт 33260-2015 (207 Steel), жасалған сына бағаналарын байлауды электролиттік-плазмалық беріктендірудің эксперименттік қондырғысы әзірленді. Электролиттік-плазмалық беріктендірудің тәжірибелік зерттеулері әртүрлі өңдеу режимдерінде жүргізілді. Бөліктің жоғары жылдамдықты қыздыруының вольт-амперлік сипаттамасының иондалған электролит плазмасының температурасына тәуелділігі сипатталған. Электролиттегі қыздыру мен беріктендіру жылу өткізгіш үрдісі математикалық модельмен сипатталған, регрессия формуласы алынған. Электролиттік-плазмалық беріктендірудің негізгі параметрлері анықталды, өңдеудің оңтайлы режимдері шығарылды. Растрлық элементтік талдау төмен көміртекті легіріленген болаттың қатайтылған қабатының көміртегінің беттік модификациясын көрсетеді. Электролиттік плазмалық беріктендіру әдісі СБ плашкасының жұптасқан жұмыс беттерін жергілікті қатайтуға мүмкіндік береді. Бастапқы күйге қатысты микроқұрылымның өзгеру нәтижелерін, қаттылықтың артуын зерттеді.

**Кілт сөздер:** электролиттік-плазмалық беріктендіру, қатайту, қаттылық, математикалық модель, жергілікті өңдеу.

DOI: [doi.org/10.32523/2616-7263-2022-139-2-86-101](https://doi.org/10.32523/2616-7263-2022-139-2-86-101)

### Кіріспе

Сына бағаналарының жабдығы олардың арасындағы сақиналық кеңістікті герметизациялау мақсатында ұңғыма сағасының үстінен шығып тұратын шектес шегендеу бағаналарының жоғарғы ұштарын бекітуге арналған (Сурет 1).



1 – баған басы; 2 - шибер ысырмасы; 3 - бітеуіш; 4 - нығыздау пакеті; 5 - манометр; 6 - манометр шұрасы; 7-плашка.

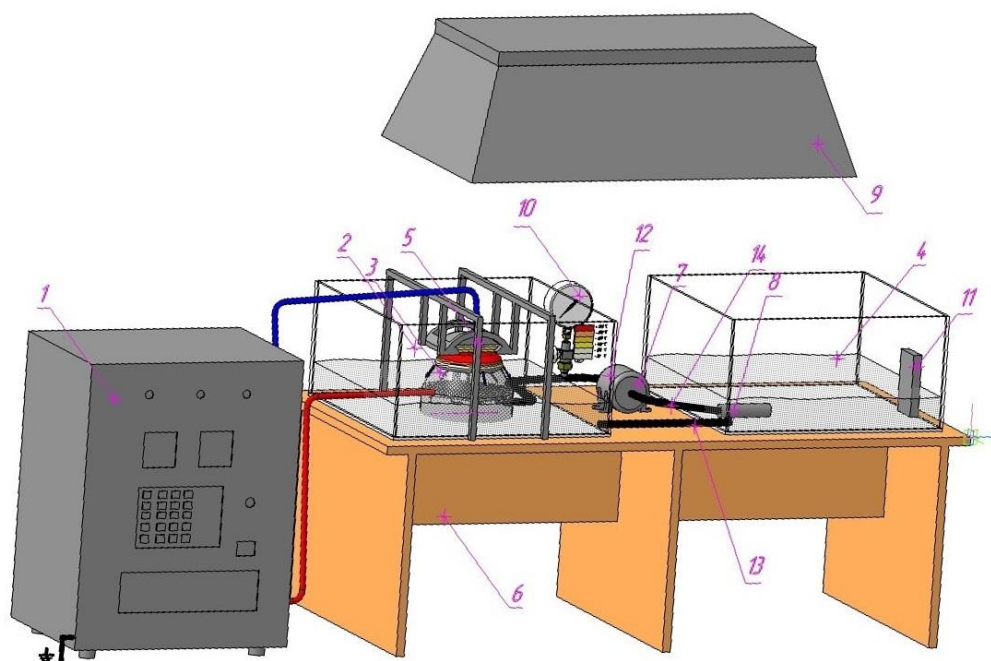
### Сурет 1. Шибер ысырмасының сына бағаналарының жабдығы

Сына бағаналарының жабдығы күрт континенталды климаттық жағдайда қолданады.

Мұнайды айдау процесінде 7 плашка сегменттері (Сурет 1) жоғары түйіспелі кернеулерге және соққы-шаршау тозуына ұшырайды. Төмен көміртекті 20Х болаттан (МемСТ 33260-2015) жасалған СБ плашкаларын нығайту дәстүрлі тәсілмен қамтамасыз етіледі - цементтеу, содан кейін қатайту [1]. Алайда, дәстүрлі процесс жоғары жылу жоғалтуымен, тиімділікті төмендетумен, айтарлықтай уақыт шығындарымен және жоғары энергия тұтынумен қатар жүреді [2]. Баламалы әдіс ретінде төмен көміртекті легіріленген болаттың электролитті-плазмалық беріктенуі (бұдан әрі-ЭПБ) зерттелді.

### Зерттеу әдістері

Плашканың жанасатын бетінің бетін эксперименттік электролитті-плазмалық беріктендіру үшін арнайы қондырғы әзірленді (Сурет 2). Қуат көзі 1 тікелей токпен қамтамасыз етеді, ол бақылау құрылғыларымен және басқару панелімен біріктірілген. Қатайтылған бөлік 2 диэлектрлік ваннаның үстіне салынған 5 қысқыш механизміне орнатылады және қысылады. Конустық шүмек 3 – сұйық анод пен бөлшек - катод арасында электролитті плазма қозғалатын жұмыс құрылғысы. 4 резервуарынан электролит 7 сорғымен 8 сүзгісі бар 14 жоғары қысымды шланг арқылы 3 саптамаға беріледі.

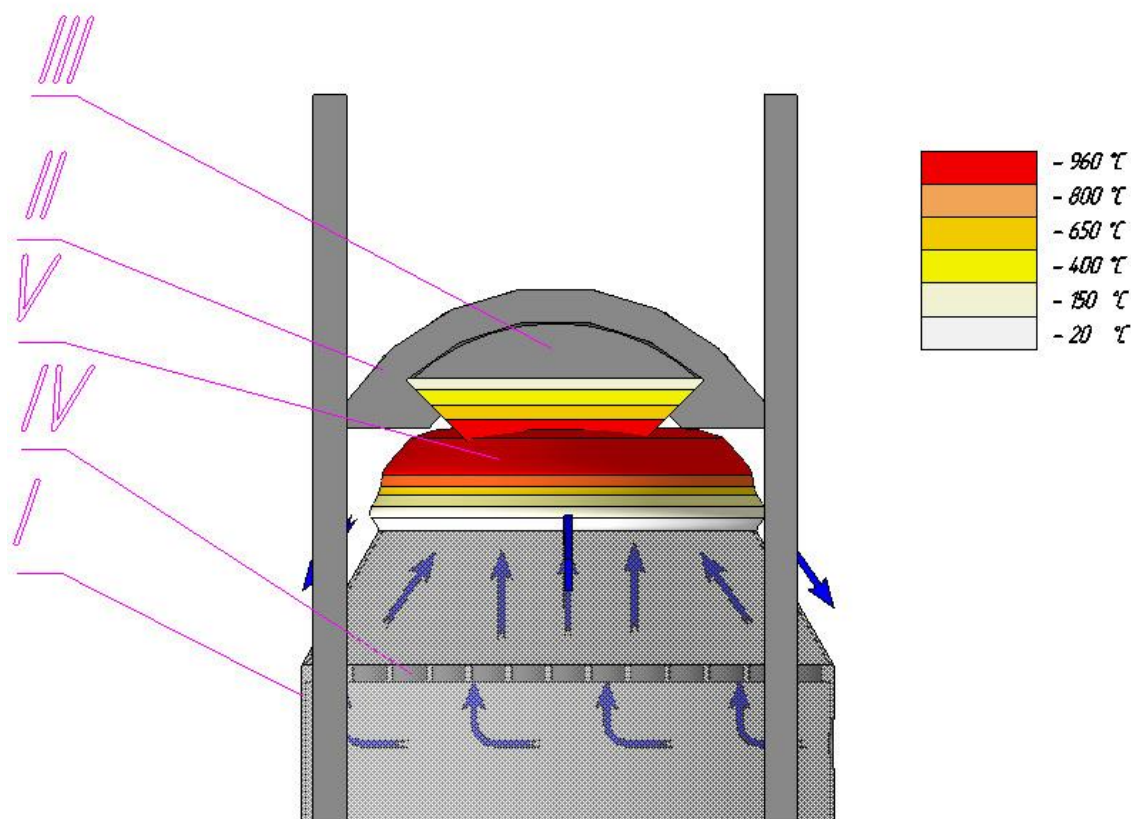


1 – қуат көзі; 2 - жұмыс ваннасы; 3 - конус шүмегі; 4 – резервуар; 5 – қысқыш механизм; 6 - үстел; 7 – сорғы; 8 - сүзгі; 9 - сорғыш; 10 - манометр; 11 – термометр; 12 – шар шүмегі; 13, 14-жоғары қысымды шланг.

## Сурет 2. Электролитті-плазмалық беріктендіруге арналған эксперименттік қондырғы

Конустық саптамаға 12Х18Н10Т МемСТ 5949-75 (аналогы - EURONORM 95 Grade X10CrNiTi1810 Steel) тот баспайтын болаттан жасалған анод салынған [3]. Электролит қысымы 10 манометрмен басқарылады және 12 шарлы кранмен реттеледі. Электролиттің жұмыс температурасы 20-60 °С аралығында 11 термометрмен бақыланады. 2 жұмыс ваннасынан пайдаланылған электролит 13 жоғары қысымды шланг арқылы 4 резервуарға кері жіберіледі. 6 жұмыс үстелінің үстінде 9 сорғыш орнатылған, ол өңдеу процесіне қосылады.

Электролитті-плазмалық беріктендірудің жұмыс органы конустық шүмек болып табылады (Сурет 3). Саптаманың үстінде беріктендірілетін сына бағаналарының жабдықтар (СБЖ) плашкасын орнатуға арналған арнайы конструкция орнатылған. Сына бағандарының III орамасының сегменті II пішінді диэлектрлік ұстағышқа салынған, оның формасы бөліктің контурын қайталайды. Саптаманың конустық корпусына қалыңдығы 2 мм тот баспайтын болаттан жасалған 12ХНЗМА-III, МемСТ 5949-75 IV анодты тор салынған (аналогы - EURONORM 95 Grade X10CrNiTi1810 Steel). Кернеу қосылған кезде катод-қатайтылған III бөлік сұйық анодпен, сода күлінің ерітіндісімен жабылады. Қысқа тұйықталу кезінде электролит  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  элементтері мен анодтың тот баспайтын болатының иондануымен пленкалы қайнауға дейін жеткізіледі. Бу, ауа қабатындағы электролиттің ыдырау иондары V электролит плазмасын қоздырады, оның температурасы бөлікті жергілікті қыздырады.



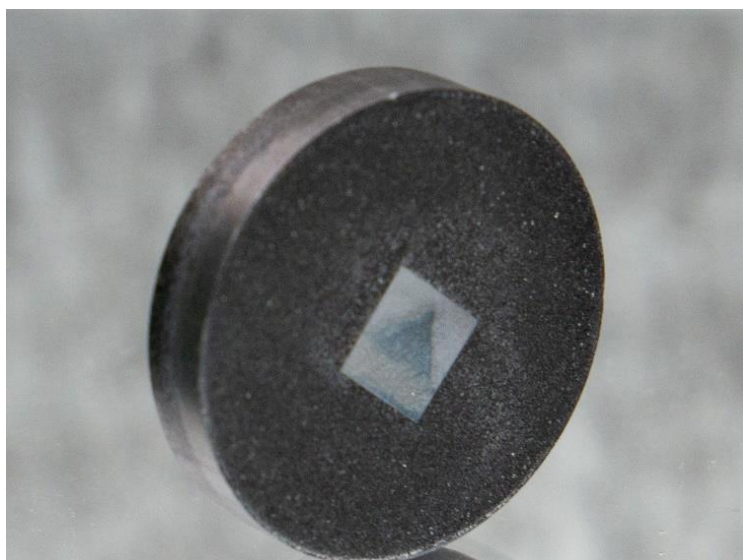
*I-конусты саптама, II- СБЖ плашкасының диэлектрлік ұстағышы, III- нығайтылатын СБЖ плашкасы -катод, IV-тот баспайтын болаттан жасалған тор-анод, V- электролитті плазма*

### Сурет 3. СБЖ плашкасына арналған плазматрон құрылғысы

Бұған дейін беткі қабатсыз сөндірудің оңтайлы режимдері анықталған [4] және 20Х болат үлгілерінде қатайтылған қабаттың қасиеттері зерттелген (С 0.17-0.23%; Si 0.17-0.37%; Mn 0.5-0.8%; Cr 0.7-1.0%, МемСт 33260-2015) (207 Steel). Қатайту ЭПБ қондырғысының резервуарынан айналатын және салқындатылатын электролит ағынында жылуды шығару есебінен жүреді.

Өлшемі 10×10×20 мм үлгілер бастапқы күйінде СБЖ плашкасынан кесілген және салыстыру үшін электролитті-плазмалық беріктендіруден кейін, қалыңдығы 1 мм алмаз дискімен салқындатқышқа батырылған. N = 350 айн/мин төмен кесу жылдамдығы және m=250 Г төмен жүктеме кезінде үлгі айтарлықтай деформациялар мен жылу әсерін сезбейді [3]. Металлографиялық микроанализ үшін хром қос тотығы пастасын қолдана отырып, жылтыратудан кейінгі шлифтер азот қышқылының 5% спирт ерітіндісімен уланған (сурет 4).

Эксперименттік зерттеулер мен механикалық сынақтар "VERITAS" озық даму орталығына және Д. Серікбаева атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университетінің «Машинажасау» ғылыми-өндірістік кешенінде жүргізілді. [4].

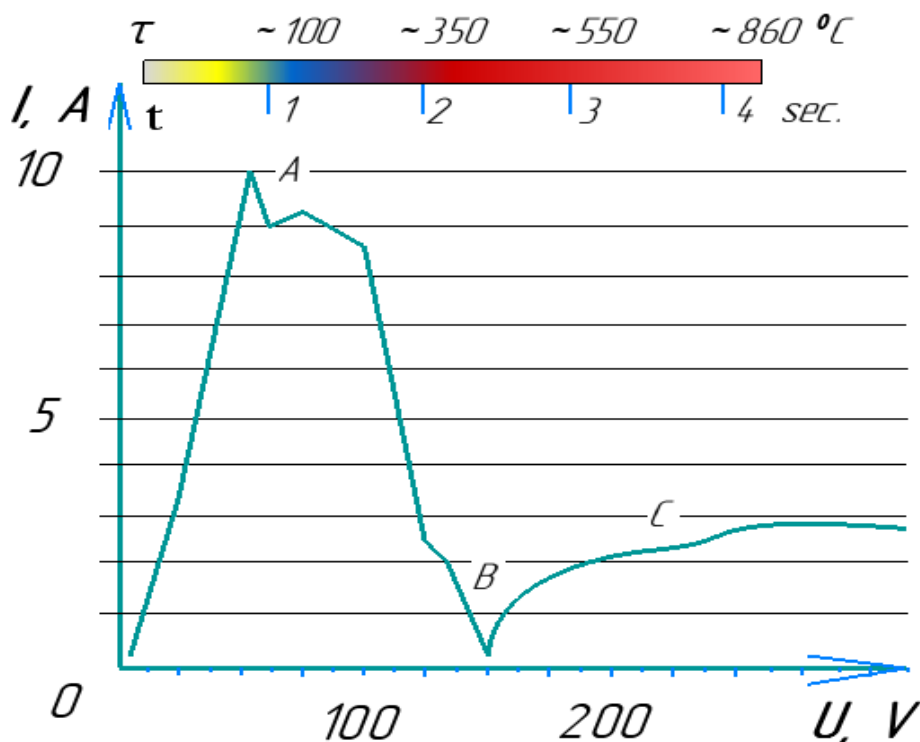


**Сурет 4. СБЖ плашкасынан кесілген микроқұрылымдық талдауға арналған үлгі**

Үлгінің элементтік құрамын JEOL фирмасының (Жапония) JSM-6390LV растрлық электронды микроскопында, "OXFORD Instruments" фирмасының INCAEnergy энергодисперсиялық микроанализінің приставкасымен зерттеді [5]. Микроқаттылық мәндері DuraScan-20 микроқаттамасымен анықталды. Сынақ әдісі - Виккерс, Кнуп. Сынақ жүктемесі - 2 кГ, максималды жүктеме кезінде ұстау - 5 секунд.

#### **Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау**

Тұрақты тоқ кернеуі беріктендіру процесінің маңызды технологиялық параметрі болып табылады, оған тек өңделген беттің сапасы ғана емес, сонымен қатар экономикалық көрсеткіштер де байланысты болады. Кернеудің біртіндеп жоғарылауымен кальцийленген сода электролизі жүреді, ал Ом Заңына сәйкес ток өседі (0-А бөлімі, сурет 5) [6]. Тоқ пен кернеудің жоғарылауымен, шамамен  $t=1$  сек. электролиттің температурасы да артады, бұл тоқтың электролит арқылы өтуінің салдары. Белгілі бір кернеу мәні  $\sim 100 - 180$  В жеткенде, катодтың бетінде электролит қайнайды [7]. Бөлшектің бетіне жақын бу-ауа қабатының белсенді бөлінуі бар, ол көпіршікті қайнатуға өтеді. Қайнаған кезде бөлшектің температурасы  $\tau \sim 100^\circ\text{C}$ , судың қайнау температурасына жақын. Белсенді электродтың айналасында көпіршікті қайнау пайда болған кезде токтың үлкен пульсациясы байқалады (А-В бөлімі). Олардың амплитудасы едәуір төмендейді және екінші секундта электролиттік плазма қозғалады, ал бөлік  $\tau < 350^\circ\text{C}$  дейін қызады.



Сурет 5. ЭПБ-дің вольт-амперлік сипаттамасы

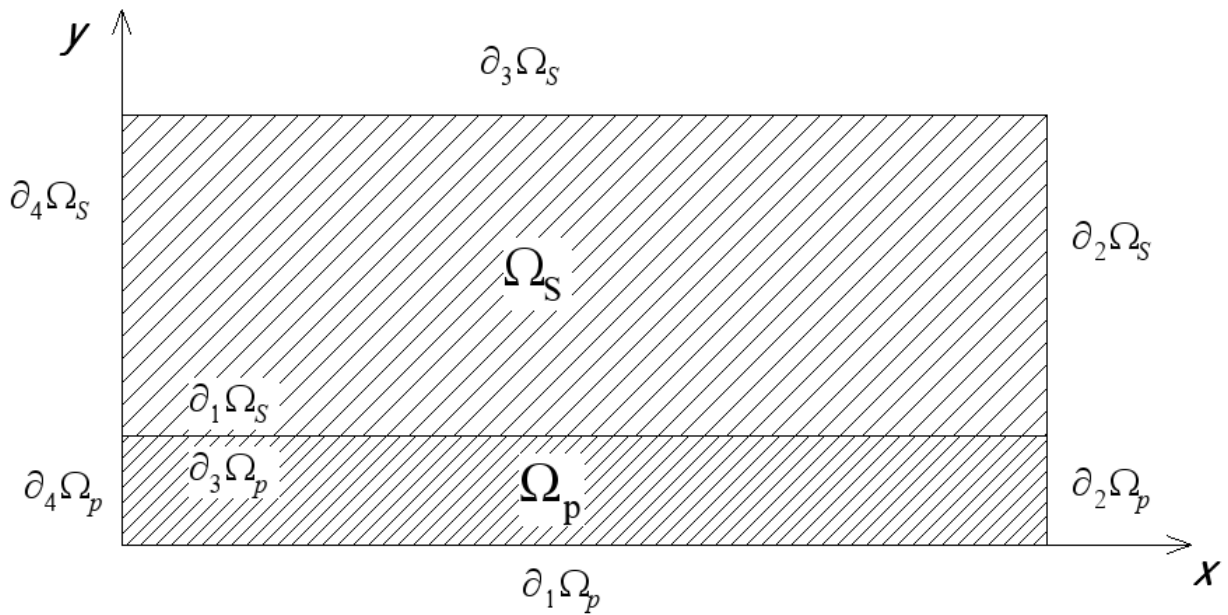
Бөлшектің айналасындағы қабықтың көгілдір жарқылына тән электролитті плазманың пайда болуына байланысты ток күші мен кернеу 200 В-қа дейін тұрақтанады (B-C бөлімі). 5-суретте плазма температурасынан (<6000 K)  $t=3-4$  секунд кезеңінде бөлшек фазалық түрлендіруге дейін жергілікті қыздырылады [8]. 20X болаттың фазалық өзгерістері, МемСТ 33260-2015 (207 болат)  $t=840-860^{\circ}\text{C}$  кезінде жүреді [9]. Плазманың жануының көгілдір түсі неғұрлым ашық болса, соғұрлым оның құрамында иондар, соның ішінде модификатор иондары болады.

Әрі қарай, кернеу қуат көзінен 4 секунд ішінде өшеді және электролит ағынында бөлік қатайды. Шынығу кезінде электролит  $90^{\circ}\text{C}$ -тан аспайды, себебі резервуарда салқындатылады және шүмектің жұмыс органында айналады [10].

Электролит-плазмалық сөндіру процестері температураның өзгеруімен және нақты жылу өткізгіштікке байланысты бөліктің фазалық өзгеруімен тікелей байланысты. Электролитті-плазмалық беріктендіру процестері математикалық модельмен сипатталған, онда бөлшек жылу әсерінен шартты түрде қарастырылады [11]. Есептелген  $\Omega$  аймақ қатайтылған қабат пен субстратқа сәйкес келетін  $\Omega_p$  және  $\Omega_s$  екі субобластқа бөлінеді, 6-сурет. Шекаралық шарттар теңдеумен анықталады (1) қабылданған болжамдарды ескере отырып, жылу өткізгіштік теңдеуі екі фазалы аймақ моделінің жылу теңдеуіне дейін азайтылуы мүмкін [12]:

$$\Psi(T) \frac{dT}{dt} = \lambda(\varepsilon_v, \varepsilon_\sigma) \nabla^2 T + F(qL) \quad (1)$$

мұндағы  $\Psi$  – фазалық ауысудың жасырын жылуы шығарылуын ескеретін өлшемсіз тиімді жылу сыйымдылығы;  $T$  – абсолютті температура;  $t$  – уақыт;  $\lambda$  – жылу өткізгіштік коэффициенті;  $\varepsilon_v$  және  $\varepsilon_\sigma$  – тығыздықтың көлемдік үлесі ретінде анықталған және сәйкесінше тегіс қимада қатайған қабат тығыздығының сипаттамалары. Теңдеудегі (1) плазманың беріктендіру термиялық әсері  $q_L(t, x, y)$  ағынға тәуелді көлем көзі  $F$  мен ескеріледі, ол өз кезегінде теңдеудегі үлгі бетіндегі  $q_{L0}(t, x)|_{y=0}$  жылу ағынымен анықталды.



$\Omega_S$ -субстрат,  $\Omega_p$  - беріктендірілген қабат.

Сурет 6. Электролитті-плазмалық сөндірудің  $\Omega$  есептеу аймағы

Плазманың беріктенуі затқа енген кезде сіңірілуі Бугер Заңына функционалды жақын заңмен сипатталады [13], таңдалған координаттар жүйесі үшін былай жазылады:

$$qL(t,x,y) = qL_0(t,x)|_{y=0} \exp(-\alpha y), \quad (2)$$

$qL_0(t,x)|_{y=0}$  функциясы уақыт бойынша периодты және кеңістіктік координаттарға тәуелді  $(x,y)$  функциямен беріледі, ол плазмалық беріктендірудің импульстік сипатын да, иондалған плазма ішіндегі сәулелену тығыздығын бөлуді де көрсетеді [14]:

$$qL_0(t,x)|_{y=0} = \frac{P_{act}}{R_b} g(x) \xi(t), \quad g(x) = g_u(x) \text{ немесе } g_n(x), \quad (3)$$

$$g_n(x) = \left(\frac{1}{2}\right) H(|x - X_b| - R_b), \quad (4)$$

$$g_u(x) = \frac{R_b^2}{(2\pi\sigma_b^2)^{1/2}} \exp\left(-\frac{(x - X_b)^2}{2\sigma_b^2}\right), \quad (5)$$

$$\xi = H(T_2 - t - \text{mod } t_1). \quad (6)$$

мұндағы  $P_{act}$  – бетінің беріктендірудің нақты қуаты,  $g(x)$  – иондалған плазмадағы ағынның тығыздығын бөлу функциясы,  $\xi$  – плазмалық қатаюдың П-тәрізді модуляция функциясы,  $R_b$ ,  $V_b$ ,  $X_0$  и  $X_b = X_0 + V_b t$  – радиус, жылдамдық, бастапқы позиция және иондалған плазма орталығының ағымдағы координаты, сәйкесінше  $\sigma_b$  – стандартты ауытқу,  $t_1$  және  $t_2$  – импульстар арасындағы уақыт (кезең) және бір импульстің ұзақтығы,  $H$  – Хэвисайд функциясы [15]. Фокустау жүйесінің  $g$  функциясы сипаттамаларына байланысты  $g_u$  немесе  $g_n$  функцияларын таңдау арқылы біртекті немесе Гаусстың бөлу түрінде беріледі. Плазмалық беріктендіру  $g$  функциясын нормалау қуатының 90% плазмалық ағынның тиімді  $R_b$  радиусымен шектелген беттік элементке келеді [16]. 6-суретте уақытша және кеңістіктік координаттарға қатысты жылу ағынын модуляциялайтын  $\xi$ ,  $g_u$  және  $g_n$  функциясының графигі көрсетілген. Үлгінің  $\partial_1 \Omega_p$  бетінде шынықтыру конвективтік және электролит ағынында жүреді [17].

$$nq | \nu_1 \Omega_p = h_{эфф}(T - T_{окр}) + \epsilon \epsilon_{SB} (T^4 - T_{окр}^4) \quad (7)$$

мұндағы  $\epsilon$  - беттік эмиссия коэффициенті,  $\epsilon_{SB} = 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{Вт}{м^2 T^4}$  Стефан-Больцман тұрақтысы,  $T_{окр}$  - қоршаған орта температурасы, ал қалыпты  $n$  векторы қатайған қабаттан электролит ортасына бағытталған [18].

Металл бетінен булану жылу алмасудың тиімді  $h_{эфф}$  коэффициенті арқылы модельде ескеріледі:

$$h_{эфф}(T) = h_{конв} + (1/2)(h_{кип} - h_{конв}) \tanh((T - T_{кип})/\Delta T_h), \quad (8)$$

мұнда газ ортасында конвекция есебінен жылу алмасудың  $h_{конв}$  коэффициентімен анықталатын беттің конвективті салқындауынан  $h_{кип}$  айқындайтын электролит ағынында шынығу есебінен салқындауға ауысуы  $\Delta T_h$  температура интервалында  $T_{кип}$  қайнау температурасына жақын жүреді. Қоршаған орта температурасынан  $h_{конв}$  ескере отырып, бұдан әрі электролит ортасында плазмалық шыңдау кезінде жылу алмасу нақтылануы мүмкін. Субстраттың төменгі бетіндегі шекаралық жағдайлар [19]:

$$nq | \partial_3 \Omega_s = h_{конв}(T - T_{окр}) \quad (9)$$

Қатайтылған қабат пен субстраттың интерфейс бөлімі температура мен жылу ағынының үздіксіздігімен сипатталады:

$$T | \partial_3 \Omega_p = T | \partial_1 \Omega_s, \quad k (\partial T / \partial n) | \partial_3 \Omega_p = k (\partial T / \partial n) | \partial_1 \Omega_s. \quad (10)$$

Тік шекараларда  $\partial_2 \Omega_p$  және  $\partial_4 \Omega_p$  қатайған қабат пен шекараларда  $\partial_2 \Omega_s$  және  $\partial_4 \Omega_s$  субстраттар температура мен қарама-қарсы шекаралардағы ағындар есептелген уақытты азайту үшін тең болған кезде (10) теңдеулерге ұқсас мерзімді шекаралық шарттар орнатылады [20]. Бастапқы шарттар келесі түрде қабылданады:

$$T | \Omega_p \Omega_s = T_{нач}, \quad (11)$$

мұндағы  $T_{нач}$  - бұл үлгіні алдын-ала қыздыратын температура.

Сонымен, теңдеулер жүйесі (1) - (11) импульсті плазмалық қатаю процесін сипаттайды және жабық [21]. Сандық модель физикалық және инженерлік мәселелерді шешуге арналған Comsol MultiPhysics коммерциялық есептеу пакетінде жүзеге асырылды. Берілген Шекті есеп үшін жылу өткізгіштіктің стационарлық емес теңдеуі (12) соңғы элементтер әдісімен есептелді [22].

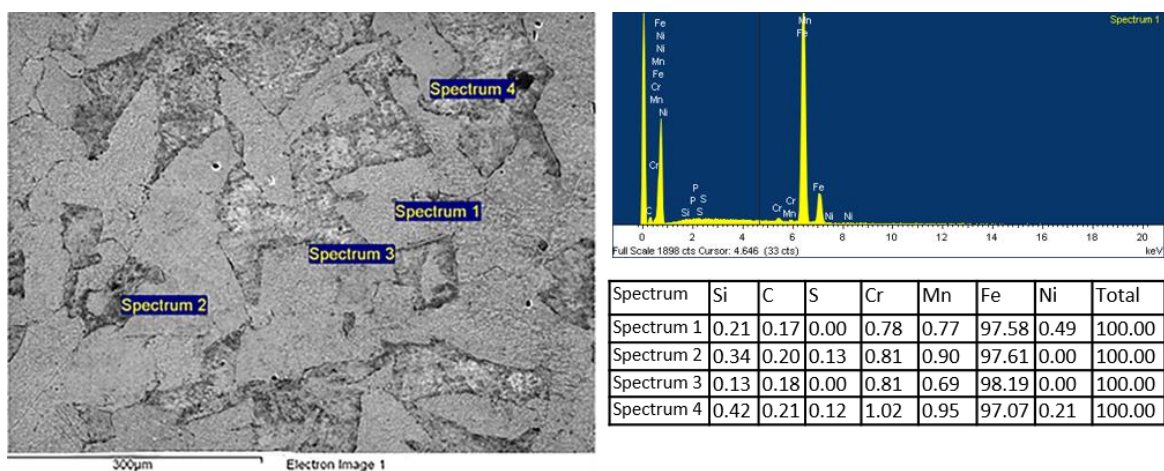
$$T = 4.5 \cdot t_{нач}^2 + 4.8 \cdot U - 25 \cdot t_{зак} \quad (12)$$

мұндағы  $T$  - болаттың қыздыру температурасы,  $t_{нач}$  - қыздыру уақыты,  $t_{зак}$  - электролит ағынында сөндіру уақыты,  $U$  - кернеу [23].

Эксперименталды түрде анықталған оңтайлы қатайту режимдері ЭПБ әдісі ( $t_{нач} = 4$  сек.,  $t_{зак} = 4$  сек.,  $U = 200$  В) белгіленген тәуелділікпен жақсы байланысты болды (12). 30 цикл үшін плазма бетіне ені 8-12 мм қатайтылған жолақтар қалдырады, олар қатайтылған бетінде кездейсоқ қабаттасады. Олар «құбылма түстерімен» боялған, яғни модификацияланған қабаттың жұқа қабығымен жабылған, олар бетінің кедір-бұдырына айтарлықтай әсер етпейді [24].



Болат 20X микроқұрылымы, МемСТ 33260-2015 (207 Steel) бастапқы күйінде (7-сурет), ірі түйірлі перлит-феррит құрылымы.

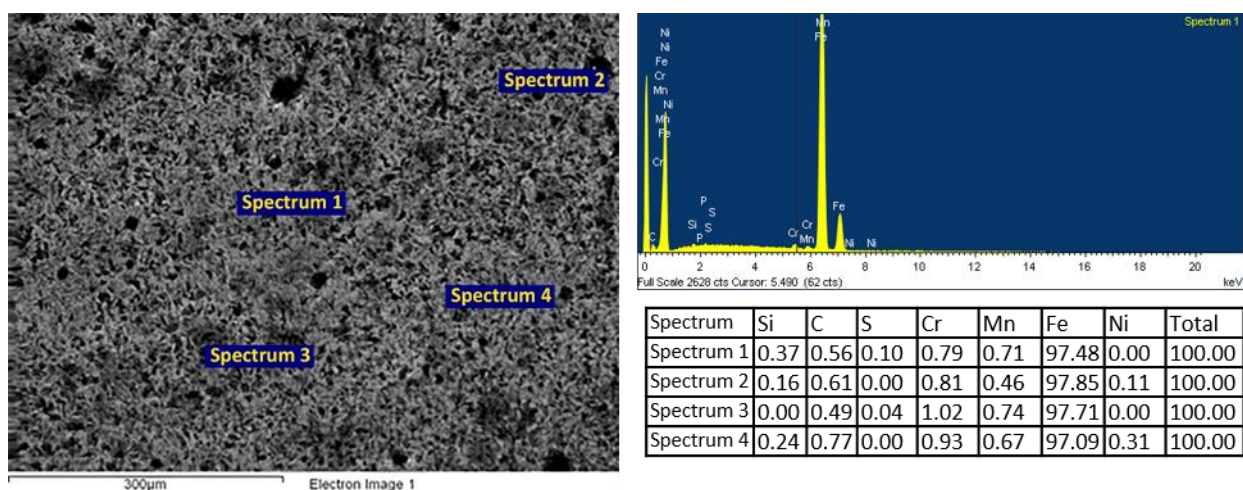


Сурет 7. Бастапқы күйдегі 20X болаттың, МемСт 33260-2015 (207 Steel), растрлық элементтік талдау

Феррит пен цементиттің  $\alpha$ -фазасын құрайтын перлит түйірлерінің шекаралары феррит  $\alpha$ -Fe құрылымының түйірлерінен нақты бөлінген. Хром, марганец, никель және сицилийдің легіріленген элементтері микроқұрылымда айқын көрінбейді, мүмкін олар өте аз мөлшерде болуымен байланысты [25]. Болат 20X, МемСТ 33260-2015 (207 Steel), элементтік құрамының нәтижелері, төрт спектр бойынша анықталған, олар орта есеппен 20X болаттың, МемСТ 33260-2015 (207 Steel), химиялық құрамына сәйкес келеді.

Электролитті плазмалық беріктендіруден кейін үлгіні электронды микроскопиялық зерттеу (8-сурет), микроқұрылым аустениттің ыдырауының біркелкі морфологиясы екенін анықтауға мүмкіндік берді [26]. Электролиттегі беріктендіру жылдамдығы өте жоғары екенін атап өткен жөн, бұл жұмсақ құрылымдар қалыптастыру үшін перлит механизмі арқылы аустениттің ыдырауына жол бермейді. Бірақ мартенситтік түрлену аралығында олар құлайды, бұл шыңдалған жарықтардың алдын алуға мүмкіндік береді [27].

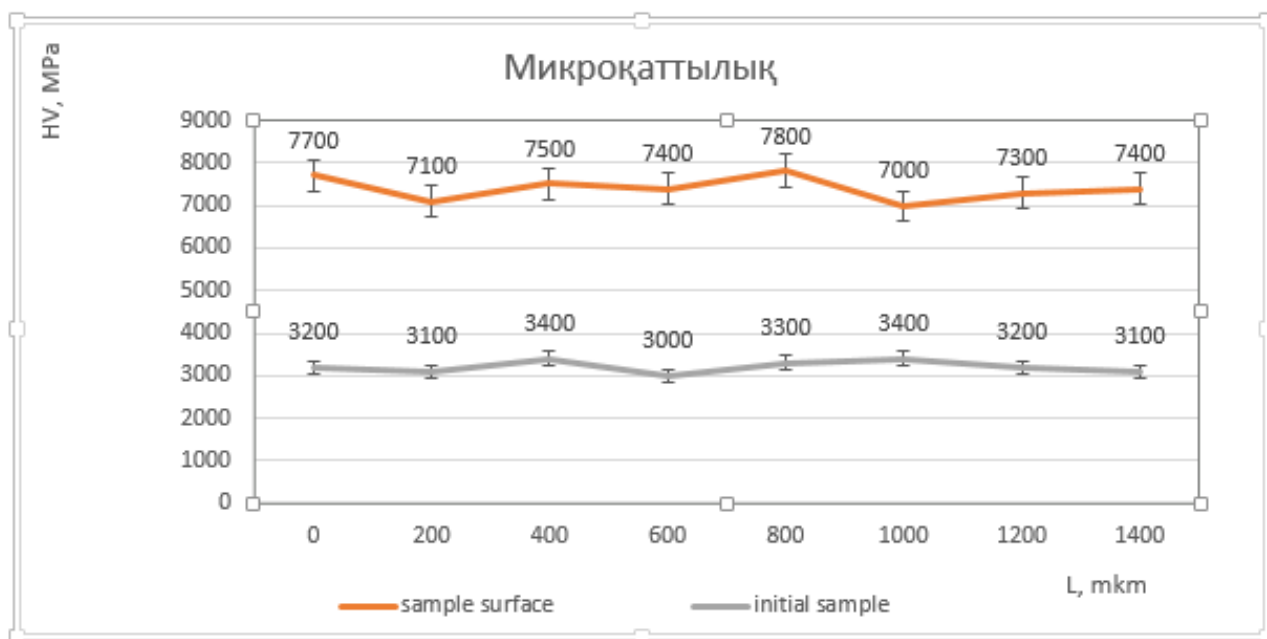
Элементтік талдау (8-сурет), электролитті-плазмалық беріктендіруден кейін бастапқы күйге қатысты көміртектің жоғарылауы байқалатынын көрсетеді, 7-сурет. Салыстырмалы түрде көп мөлшерде көміртектің болуы - орташа есеппен  $C \sim 0,6$ , электролитте кальцийленген соданың ыдырау элементтерімен және анодтың тот баспайтын болатымен қанығуымен байланысты [28].



Сурет 8. ЭПБ кейін 20X болаттың, МемСТ 33260-2015 (207 Steel), растрлық элементті талдау

Ұсақ бөлшектер темір карбиді және басқа легіріленген элементтер болып табылады [29].

Ұштасатын ішкі диаметр бойынша сына бағаналарының орамасының плашкалары мұнай өнімдерінің жоғары қысымының герметикалығын қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, кескіш сегменттердің өздері құбырдың аузын тығыз қысу кезінде жоғары ішкі кернеулерді сезінеді. Сондықтан, бәсеңдетуші өзегі бар түйісетін беттің жоғары қаттылығы өте маңызды көрсеткіш болып табылады. Микроқаттылықты өлшеу үлгі бойынша бастапқы күйінде және электролиттік-плазмалық өңдеуден кейін жүргізілді. Өлшеу нәтижелері (сурет 9) электролиттік-плазмалық сөндіруден кейін микроқаттылық екі еседен астам өскенін көрсетеді: шамамен HV3212-ден HV7400 МПа-ға дейін.



Сурет 9. 20X болаттың микроқаттылығының мәні

Электролитті плазмалық қатайту әдісімен қатайтылған плашка бетінің микроқаттылығының орташа мәні 54-60 HRC сәйкес келеді, бұл дәстүрлі әдіспен алынған 42-48 HRC қаттылығынан едәуір асады [30].

### Қорытынды

1) сына бағандарын байлау кесінділерінің сегментін электролитті-плазмалық беріктендіруге арналған тәжірибелік қондырғы әзірленді.

2) электролитті-плазмалық беріктендірілген үлгілердің микроқұрылымы болаттың құрылымдық-фазалық түрленуін, аустениттің, карбид фазаларының түрлендірілген бетінде болжамды ыдырауының болуын куәландырды.

3) растрлық элементтік талдау электролит пен тот баспайтын анод болатының иондалған ыдырауынан қаныққан бастапқы күйге қатысты ~0,6 дейін қатайтылған бетіндегі көміртектің артуын анықтады.

4) микроқаттылықтың мәнін өлшеу электролиттік-плазмалық шынығудан кейін бастапқы күйден орта есеппен HV3212-ден HV7400 МПа-ға дейін екі еседен астам жоғарылағанын көрсетеді.

5) сөндірудің температуралық әсерінің математикалық моделі әзірленді, бөлшектің қыздыру температурасының негізгі факторлардан: қыздыру уақытынан; электролит ағынындағы сөндіру уақытынан және кернеуден регрессия формуласы шығарылды.

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

### Әдебиеттер тізімі

1. Pogrebnyak, A.D., Kaverina A.S., Kylyshkanov M.K. Electrolytic plasma processing for plating coatings and treating metals and alloys // Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces. - 2014. - Vol.50. - P.72-87.

2. Кылышканов М.К., Комбаев К.К., Погребняк А.Д. Способ электролитно-плазменного упрочнения деталей бурового долота // Пат. 23178 РК. МПК С21D1/78(2009.01), С21D 1/34 (2009.01). Дата подачи 06.05.2009г., зарегистрировано 20.09.2010г.

3. Meletis, E. I. et al. Electrolytic plasma processing for cleaning and metal-coating of steel surfaces // Surface and Coatings Technology. - 2002. - Vol.150. - P.246–256.

4. Doudkin M., Kombayev K., Kim A.I., Azamatov B., Azamatova Z. 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. - 2020. - Vol.10. - Is.2. - P.747–758.

5. Wan Y. G., Junping L., Guo J. H., Hai Q., Yuning L. and Hui Z. Electrolytic plasma processing-an innovative treatment for surface modification of 304 stainless steel// Scientific reports. - 2017. - Vol.7 - P.1-7.

6. 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. - №.436. - P.222–229.

7. Wang B., Xue W.B., Wu J., Jin X.Y., Hua M. Characterization of surface hardened layers on Q235 low-carbon steel treated by plasma electrolytic borocarburing // Journal of Alloys and Compounds. - 2013. №578. - P.162-169.

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. - P.219-225.

9. ASTM E1558-09(2014), Standard Guide for Electrolytic Polishing of Metallographic Specimens, ASTM International, West Conshohocken. - 2014. <https://webstore.ansi.org/standards/astm/astme1558092014/> (Дата обращения: 18.10.2021).

10. 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. - №11. - P.39-45.

11. Rakhadilov B.K., Sagdoldina Zh.B., Ocheredko I.A., Kombaev K.K. Khassenov 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.

12. 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. - V. 245. - P. 9-15.

13. Pogrebnyak A.D., Kaverina A.S. Electrolytic plasma processing for plating coatings and treating metals and alloys// Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces. - 2014. - Vol.50. - P.72–87.

14. 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. - №27. - P.509-514.

15. Wang B., Jin X.Y., Xue W.B., Wu Z.L., Du J.C, Wu J. High temperature tribological behaviors of plasma electrolytic borocarbureted Q235 low-carbon steel //Surface and Coatings Technology. - 2013. - №232. - P.142-149.

16. 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.

17. Luk, S.F., Leung, T.P., Miu, W.S., Pashby, I. Development of electrolytic heat-treatment in aqueous solution// Journal of Materials Processing Technology. - 1998. - №84. - P.189-192.

18. Jiang Y.F., Geng T., Bao Y.F. Electrolyte-electrode interface and surface characterization of plasma electrolytic nitrocarburizing // Surface and Coatings Technology. - 2013. - Vol.216 - P.232-236.

19. Kong J.H., Takeda T., Okumiya M. et al. The Study about Surface Modification of Steel by Water Plasma // 13th International Conference on Plasma Surface Engineering, September 10-14 in Garmisch-Partenkirchen, Germany. - 2012. - P.157-160.

20. Kusmanov S.A., Dyakov I.G., Kusmanova Yu.V. Surface modification of low-carbon steels by plasma electrolytic nitrocarburizing // Plasma Chemistry and Plasma Processing. - 2016. - Vol.36. - P.1271–1286.

21. Cenk Kumruoğlu, L., Özel A. Surface Modification of AISI 4140 Steel Using Electrolytic Plasma Thermocyclic Treatment // Materials and Manufacturing Processes. - 2010. - Vol.25. - P.923-931.

22. Dewan, M.W., Liang J., Wahab M.A., Okeil A.M. Effect of post-weld heat treatment and electrolytic plasma processing on tungsten inert gas welded AISI 4140 alloy steel // Materials & Design. - 2014. - Vol.54. - P.6-13.

23. Zarchi M.K., Shariat M.H., Dehghan S.A., Solhjoo 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. - №3. - P. 213-220.

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. Pogrebnyak, A.D., Kulmenteva O.P., Kobzev A.P., Tyurin Y.N., Boiko A.G. Mass transfer and doping during electrolyte-plasma treatment of cast iron// Technical Physics Letters. - 2003. - Vol.29. - P.312-315.

26. Tavakoli H., Mousavi Khoie S.M., Hosseini S.A. Characterization of submicron-size layer produced by pulsed bipolar plasma electrolytic carbonitriding // Journal of Alloys and Compounds. - 2014. - №583. - P.382-389.

27. Pang H., Zhang G.-L., Wang X.Q., Lv G.-H. Mechanical Performances of Carbonitriding Films on Cast Iron by Plasma Electrolytic Carbonitriding // Chinese Physics Letters. - 2011. - Vol.28. - №11. - P.103-118.

28. Mahzoon F., Behgozin S.A., 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. - №8. - P.1751-1756.

29. Cenk Kumruoglu L., Yerokhin A., Ozel A., Matthews A. Effect of nitrogen gas addition onto the process of plasma electrolytic nitrocarburising 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. - №4. - P.163-168.

**К.К.Комбаев<sup>1</sup>, Р.Б. Ахмадиев<sup>2</sup>, А.Б. Касенова<sup>1</sup>, Д.С.Елеманов<sup>1</sup>, Г.М.Токтарбаева<sup>1</sup>, Г.С. Сыпайнова<sup>1</sup>**

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

<sup>2</sup>АО Усть-Каменогорский завод промышленной арматуры, Усть-Каменогорск, Казахстан

#### **Упрочнение стали 20X обвязки колонн клиновых электролитно-плазменной закалкой**

**Аннотация.** Мировой спрос на нефтегазовую продукцию вызвал заметные качественные и количественные изменения в применяемых технологических процессах изготовления деталей и оборудования для добычи и транспортировки нефтепродуктов. Казахстан является крупнейшей нефтедобывающей страной мира, поэтому развитие прогрессивной технологии производства нефтегазового оборудования может стимулировать промышленный и экономический рост. Традиционные технологии упрочнения ответственных деталей обвязки колонн клиновых (ОКК) являются энергозатратными и трудоемкими, хотя используются во многих промышленных предприятиях. Для научного исследования химико-термического упрочнения низкоуглеродистой легированной плашки из стали 20X, GOST 33260-2015 (207 Steel) обвязки колонн клиновых разработана экспериментальная установка электролитно-плазменного упрочнения. Экспериментальные исследования электролитно-плазменного упрочнения проводили в различных режимах обработки. Описана зависимость вольт-амперной характеристики высокоскоростного нагрева детали от температуры ионизированной электролитной плазмы. Процессы теплопереноса нагрева и закалки в электролите описаны математической моделью, выведена формула регрессии. Определены основные параметры электролитно-плазменного упрочнения, выведены оптимальные режимы обработки. Растровый элементный анализ свидетельствует о поверхностной модификации углеродом упрочняемого слоя низкоуглеродистой легированной стали. Метод электролитно-плазменного упрочнения позволяет локально закалить сопрягаемые рабочие поверхности плашки ОКК. Исследовали результаты изменения микроструктуры, повышения твердости относительно исходного состояния.

**Ключевые слова:** электролитно-плазменное упрочнение, закалка, твердость, математическая модель, локальная обработка.

**K.K.Kombaev<sup>1</sup>, R.B. Ahmadiyev<sup>2</sup>, A.B. Kassenova<sup>1</sup>, D.S.Elemanov<sup>1</sup>, G.M.Toktarbaeva<sup>1</sup>, G.S. Sypainova<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan*

<sup>2</sup>*AO Ust-Kamenogorsk Industrial Fittings Plant, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan*

### **Strengthening of the steel 20X of the binding of wedge columns by electrolyte-plasma hardening**

**Abstract.** The global demand for oil and gas products has caused noticeable qualitative and quantitative changes in the applied technological processes for manufacturing parts and equipment for the extraction and transportation of petroleum products. Kazakhstan is the largest oil-producing country in the world, so the development of advanced technology to produce oil and gas equipment can stimulate industrial and economic growth. Traditional technologies for hardening critical parts of wedge string piping (WSP) are energy-intensive and labor-intensive, although they are used in many industrial enterprises. For the scientific study of the chemical-thermal hardening of a low-carbon alloyed slab, there was developed an experimental installation for electrolytic-plasma hardening made of steel 20X, GOST 33260-2015 (207 Steel), tying the wedge columns, an. Experimental studies of electrolytic-plasma hardening were carried out in various processing modes. The article describes dependence of the current-voltage characteristic of high-speed heating of a part on the temperature of the ionized electrolyte plasma. The article highlights the heat transfer processes of heating and hardening in the electrolyte by a mathematical model, and a regression formula. The article describes the main parameters of electrolytic-plasma hardening, and optimal processing modes. Raster elemental analysis indicates surface modification of the hardened layer of low-carbon alloy steel by carbon. The method of electrolytic-plasma hardening makes it possible to locally harden the mating working surfaces of the WSP die. The article investigates results of changing the microstructure and increasing the hardness relative to the initial state.

**Keywords:** Electrolyte-plasma hardening, hardening, hardness, mathematical model, local processing.

### **References**

1. Pogrebnyak, A.D., Kaverina A.S., Kylyshkanov M.K. Electrolytic plasma processing for plating coatings and treating metals and alloys // *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*. - 2014. - Vol.50. - P.72-87.
2. Kylyshkanov M.K., Kombaev K.K., Pogrebnyak A.D. Method of electrolyte-plasma hardening of drill bit parts // *Pat. 23178 RK. IPC C21D1/78(2009.01), C21D 1/34(2009.01)*. Filing date 06.05.2009, registered 20.09.2010.
3. Meletis, E. I. et al. Electrolytic plasma processing for cleaning and metal-coating of steel surfaces // *Surface and Coatings Technology*. - 2002. - Vol.150. - P. 246–256.
4. Doudkin M., Kombayev K., Kim A.I., Azamatov B., Azamatova Z. *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*. - 2020. - Vol.10. - Is.2. - P.747–758.
5. Wan Y. G., Junping L., Guo J. H., Hai Q., Yuning L. and Hui Z. Electrolytic plasma processing-an innovative treatment for surface modification of 304 stainless steel // *Scientific reports*. - 2017. - Vol.7 - P.1-7.
6. 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. - №436. - P.222–229.
7. Wang B., Xue W.B., Wu J., Jin X.Y., Hua M. Characterization of surface hardened layers on Q235 low-carbon steel treated by plasma electrolytic borocarburing // *Journal of Alloys and Compounds*. -

2013. - №578. - P.162-169.

8. Kozha E., Smagulov D.U., Akhmetova G.E., Kombaev K.K. Laboratory installation for electrolytic-plasma treatment of steel // NEWS of national academy of sciences of the republic of Kazakhstan. - 2017. - Vol.4. - P.219-225.

9. ASTM E1558-09(2014), Standard Guide for Electrolytic Polishing of Metallographic Specimens, ASTM International, West Conshohocken. - 2014. <https://webstore.ansi.org/standards/astm/astme1558092014/> (Accessed: 18.10.2021).

10. 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. - №11. - P.39-45.

11. Rakhadilov B.K., Sagdoldina Zh.B., Ocheredko I.A., Kombaev K.K. Khassenov 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.

12. 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.

13. Pogrebnyak A.D., Kaverina A.S. Electrolytic plasma processing for plating coatings and treating metals and alloys // Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces. - 2014. - Vol.50. - P.72-87.

14. 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. - №27. - P.509-514.

15. Wang B., Jin X.Y., Xue W.B., Wu Z.L., Du J.C, Wu J. High temperature tribological behaviors of plasma electrolytic borocarbureted Q235 low-carbon steel //Surface and Coatings Technology. - 2013. - №232. - P.142-149.

16. 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.

17. Luk, S.F.; Leung, T.P.; Miu, W.S.; Pashby, I. Development of electrolytic heat-treatment in aqueous solution // Journal of Materials Processing Technology. - 1998. - №84. - P.189-192.

18. Jiang Y.F., Geng T., Bao Y.F. Electrolyte-electrode interface and surface characterization of plasma electrolytic nitrocarburizing // Surface and Coatings Technology. - 2013. - Vol.216 - P.232-236.

19. Kong J.H., Takeda T., Okumiya M. et al. The Study about Surface Modification of Steel by Water Plasma // 13th International Conference on Plasma Surface Engineering, September 10-14 in Garmisch-Partenkirchen, Germany. - 2012. - P. 157-160.

20. Kusmanov S.A., Dyakov I.G., Kusmanova Yu.V. Surface modification of low-carbon steels by plasma electrolytic nitrocarburizing // Plasma Chemistry and Plasma Processing. - 2016. - Vol.36. - P.1271-1286.

21. Cenk Kumruoğlu, L., Özel A. Surface Modification of AISI 4140 Steel Using Electrolytic Plasma Thermocyclic Treatment //Materials and Manufacturing Processes. - 2010. - Vol.25. - P.923- 931.

22. Dewan, M.W., Liang J., Wahab M.A., Okeil A.M. Effect of post-weld heat treatment and electrolytic plasma processing on tungsten inert gas welded AISI 4140 alloy steel // Materials & Design. - 2014. - Vol.54. - P.6-13.

23. Zarchi M.K., Shariat M.H., Dehghan S.A., Solhjoo 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. - №3. - P.213-220.

24. Rastkar A.R., Shokri B. Surface modification and wear test of carbon steel by plasma electrolytic nitrocarburizing // Surface and Interface Analysis. - 2012. - №44. - P.342-351.

25. Pogrebnyak, A.D., Kulmenteva O.P., Kobzev A.P., Tyurin Y.N., Boiko A.G. Mass transfer and doping during electrolyte-plasma treatment of cast iron // Technical Physics Letters. - 2003. - Vol.29. - P.312-315.

26. Tavakoli H., Mousavi Khoie S.M., Hosseini S.A. Characterization of submicron-size layer

produced by pulsed bipolar plasma electrolytic carbonitriding // Journal of Alloys and Compounds. - 2014. - №583. - P. 382-389.

27. Pang H., Zhang G.-L., Wang X.Q., Lv G.-H. Mechanical Performances of Carbonitriding Films on Cast Iron by Plasma Electrolytic Carbonitriding // Chinese Physics Letters. - 2011. - Vol.28. - №11. - P.103-118.

28. Mahzoon F., Behgozin S.A., 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. - №8. - P.1751-1756.

29. Cenk Kumruoglu L., Yerokhin A., Ozel A., Matthews A. Effect of nitrogen gas addition onto the process of plasma electrolytic nitrocarburising 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.- №4. - P.163-168.

#### **Авторлар туралы мәліметтер:**

**Комбаев К.К.** – техника ғылымдарының кандидаты, машинажасау мектебінің доценті, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан.

**Ахмадиев Р.Б.** – АҚ «Өскемен өнеркәсіптік арматура зауытының» техникалық директоры, Өскемен, Қазақстан.

**Касенова А.Б.** – техника ғылымдарының магистрі, «VERITAS» озық даму орталығының инженер – зерттеушісі, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан.

**Елеманов Д.С.** - ауыл шаруашылығы ғылымдарының магистрі, жер туралы ғылымдар мектебінің аға оқытушысы, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан.

**Токтарбаева Г.М.** - техника ғылымдарының магистрі, келісімшарттық зерттеулер кеңсесінің бас маманы, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан.

**Сыпайнова Г.С.** - техника ғылымдарының магистрі, жер туралы ғылымдар мектебінің оқытушысы, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан.

**Kombaev K.K.** - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the School of Mechanical Engineering, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan.

**Akhmadiev R.B.** - Technical Director of "Ust-Kamenogorsk Industrial Reinforcement Plant" JSC, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan.

**Kassenova A.B.** - Master of Technical Sciences, Research Engineer at the Center for Advanced Development "VERITAS", D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan.

**Elemanov D.S.** - Master of Agricultural Sciences, Senior Lecturer at the School of Earth Sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan.

**Toktarbayeva G.M.** - Master of Technical Sciences, Chief Specialist of the Contract Research Office, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan.

**Sypainova G.S.** - Master of Technical Sciences, lecturer at the School of Earth Sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan.