

МАШИНА ЖАСАУ
МАШИНОСТРОЕНИЕ
MECHANICAL ENGINEERINGDOI 10.51885/1561-4212_2023_3_70
MFTAA 55.21.99К.К. Комбаев¹, Д.С. Елеманов², А.Б. Касенова³, Б.А.Тоқтар⁴, Г.М. Токтарбаева⁵,
Г.С. Сыпайнова⁶

Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан

¹E-mail: Kombaev82@mail.ru*²E-mail: atonai2009@mail.ru³E-mail: baurzhan.bota95@mail.ru⁴E-mail: Birzhankz@mail.ru⁵E-mail: manatkyzy.gaukhar@mail.ru⁶E-mail: Gylden84@mail.ru**ЭЛЕКТРОЛИТТИ-ПЛАЗМАЛЫҚ ҚАТАЙТУ ЖӘНЕ ТОЗУҒА ТӨЗІМДІЛІКТІ АРТТЫРУ
АРҚЫЛЫ ПЛАШКА ҮЛГІСІНІҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ-ФАЗАЛЫҚ ТҮРЛЕНУІ****СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ МОДЕЛИ ПЛАШКИ С ЭЛЕКТРОЛИТНО-
ПЛАЗМЕННЫМ УПРОЧНЕНИЕМ И ПОВЫШЕНИЕМ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ****STRUCTURAL-PHASE TRANSFORMATION OF THE DIE MODEL WITH ELECTROLYTE-
PLASMA HARDENING AND INCREASED WEAR RESISTANCE**

Аңдатпа. Электролитті-плазмалық қатайту қондырғысында сына бағаналары жабдықтарының плашкасының жауапты бөлшектерін тәжірибелік қатайту жүргізілді. Аналитикалық және тәжірибелік жолмен сына бағандарының жабдық плашкасының түйісетін беттерінің сапасына қойылатын талаптарға сәйкес келетін оңтайлы режимдер мен параметрлер анықталды. Электролитті-плазмалық қатаю кезінде пайда болған беттік қабаттардың трибологиялық қасиеттері мен үйкеліс коэффициентін және күшейтілген құрылымын электронды микроскопиялық зерттеу тозу қарқындылығының жоғарылауын көрсетеді. Сұйық ортада құрғақ сырғанау және сырғанау үйкелісі жағдайында тозуға төзімділік пен үйкеліс коэффициенті зерттелді.

Түйін сөздер: электролитті-плазмалық қатайту; коррозияға төзімді болат; трибологиялық қасиеттері; бекіту арматурасы; дроссель.

Аннотация. На электролитно-плазменной установке упрочнения проведена экспериментальное упрочнение ответственных деталей плашек оборудования клиновых колонн. Аналитически и экспериментально определены оптимальные режимы и параметры клиновых колонн, соответствующие требованиям, предъявляемым к качеству сопрягаемых поверхностей плашек оборудования. Электронно-микроскопическое исследование трибологических свойств и коэффициента трения и усиленной структуры поверхностных слоев, образующихся при электролитно-плазменном затвердевании, свидетельствует об увеличении интенсивности износа. Исследованы износостойкость и коэффициент трения в условиях сухого скольжения и трения скольжения в жидкой среде.

Ключевые слова: электролитно-плазменное упрочнение; коррозионно-стойкая сталь; трибологические свойства; запорная арматура; дроссель.

Annotation. An experimental hardening of critical parts of the dies of wedge column equipment was carried out on an electrolyte-plasma hardening plant. Optimal modes and parameters of wedge columns that meet the requirements for the quality of the mating surfaces of the equipment dies have been determined analytically and experimentally. Electron microscopic examination of tribological properties and the

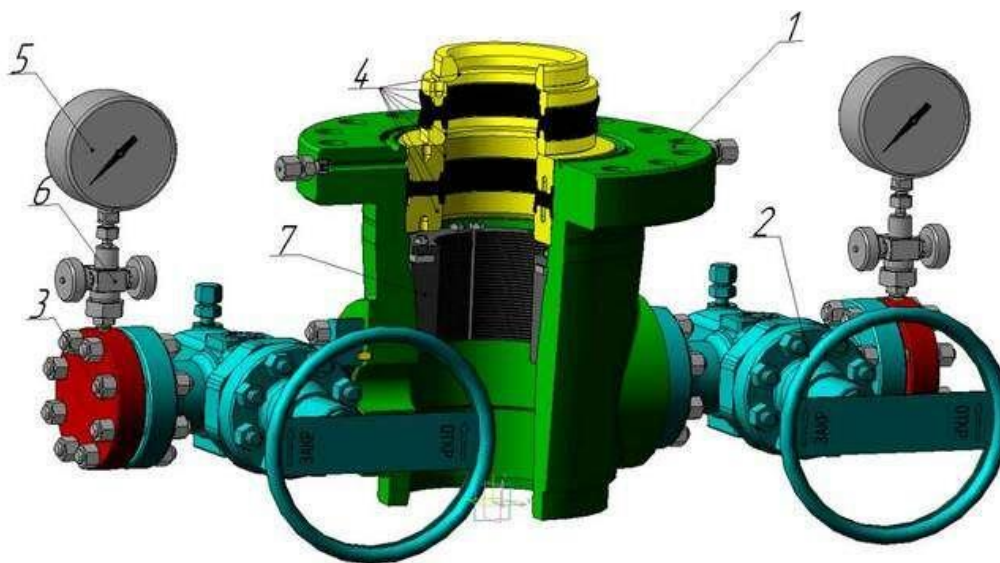
coefficient of friction and the reinforced structure of the surface layers formed during electrolyte-plasma solidification indicates an increase in the intensity of wear. The wear resistance and coefficient of friction under dry sliding and sliding friction in a liquid medium are investigated.

Keywords: electrolyte-plasma hardening; corrosion-resistant steel; tribological properties; shut-off valves; choke.

Кіріспе. Қазақстанның машина жасау саласында мұнай кәсіпшілігі жабдықтарын жобалау және дайындау кезінде өңдеудің ұтымды режимдерін қолдану, жабдықтың сенімділігі, беріктігі мен жөнделу жарамдылығы көрсеткіштерін арттыру басым болып табылады. Өндірістің технологиялылығын арттыру заманауи жоғары өнімді жабдықтар мен конструкцияларда жаңа тозуға төзімді материалдарды қолдану арқылы жүзеге асырылады [1].

Өндірілетін мұнай кәсіпшілігі жабдықтарының кең таралған түрі – сына бағаналарының жабдықтары. Сына бағаналарының жабдықтары – оларды ілу, олардың арасындағы сақиналық кеңістікті тығыздау және ондағы қысымды бақылау мақсатында іргелес бағандардың жоғарғы ұштарын байлауға арналған. Жұмыс ортасы - температурасы +120 °С дейінгі мұнай және газ ұңғымаларының өнімі. Манифольдтың құлыптау құрылғысы - шиберлі ысырма. Көтергіш бағандарды ілу әдісі - сына суспензиясы. Қоршаған ортаның температурасы - 45-тен + 40-қа дейін. Механикалық коспалардың мөлшері көлемі бойынша 0,5 % дейін CO₂ және H₂S 25 % КЗ дейін рұқсат етілген көлемдік құрамы.

Сына бағаналарының жабдығы (СБЖ) олардың арасындағы сақиналық кеңістікті тығыздау мақсатында ұңғыма сағасынан жоғары шығатын іргелес корпустық бағаналардың жоғарғы ұштарын байлауға арналған (1-сурет). 1 Корпус ұңғыма сағасының өткізгіш колоннасына бұрандалы жалғау арқылы орнатылады [2].



1-сурет. Мұнай кәсіпшілігі жабдықтарының сына бағаналарының жабдықтары: 1 – бағаналы басы; 2 – шиберлі ысырма; 3 – штепсель; 4 – тығыздағыш пакеті; 5 – манометр; 6 – манометр клапаны; 7 – плашка

Жоғарғы фланецке сорғы-компрессорлық құбырлардың бағанасын бекіту және сағалық аймақтағы жұмыс ортасының ағынымен манипуляциялау үшін қажетті сағалық арматура бекітіледі. Технологиялық жабдықты қосу, корпустың бүйір тесіктері арқылы құбырлы

ортаның ағынын жабу, сондай-ақ оның қысымын бақылау үшін сына бағанасы жабдықтарының конструкциясында 2 шиберлі ысырмалар, 3 тығындар, 5 манометрлер және 6 манометрлердің вентильдері көзделген. ОКК корпусының өту тесігіне құбыр кеңістігін тығыздау үшін қызмет ететін 4 тығыздағыш пен 7 плашка жиынтығы, сондай-ақ қаптама құбырларының бағанасын ілу орнатылады. Плашка жабдықтың негізгі және ең көп жүктелген торабы болып табылады. Оның дизайнында өнімнің ішкі тістері, корпусы, сондай-ақ сыртқы қону конусының бетін бекітуге мүмкіндік беретін арнайы профиль бар. Ұңғыманы пайдалану кезінде қоршау құбырлары бағанының салмағынан туындаған қалыпты күштердің жоғары жүктемелері, сондай-ақ жанасу және діріл жүктемелері плашкаға әсер етеді. Мұның бәрі өнімнің механикалық қасиеттеріне жоғары талаптар қояды. Корпусқа кесілетін тістердің беттері материалдың жоғары қаттылығын қажет етеді.

Әлсіз агрессивтілік ортасында жұмыс істейтін плашка 20X MEMCT 4543-71 (5120, 5120H – AISI, SAE, ASTM АҚШ) болаттан жасалады, оған жоғары беріктік пен қаттылық талаптары қойылады, 1 кесте [3].

1-кесте. Химиялық құрамы, % (MEMCT 4543-71)

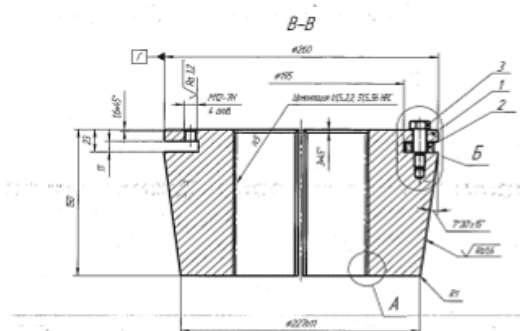
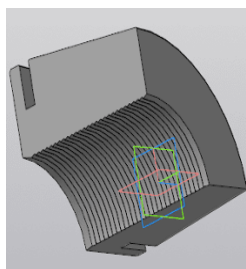
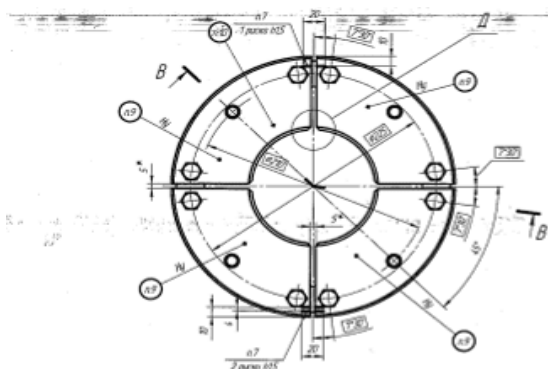
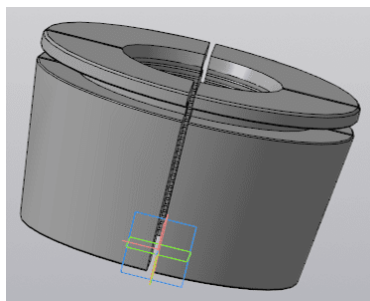
C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	S	P
				көп емес			
0,17-0,23	0,17-0,37	0,5-0,8	0,7-1,0	0,30	0,30	0,035	0,035

20X болат үшін көп жағдайда 750-800 °С температурада жұмсақ күйдіру қолданылады. Содан кейін ол пеште 500 °С дейін салқындатылады. Өңдеудің соңғы термиялық кезеңі – 950-1000 °С температурада қатайту. Содан кейін қорытпа майға немесе ауада бір-екі сағат ұсталады және коррозияға қарсы беріктік пен төзімділікке тексеріледі. Қыздыру үшін қыздыру әдетте камералық пештерде жүзеге асырылады. Ыстық майға немесе балқытылған тұзға салқындатылады, бұл деформация дәрежесін айтарлықтай төмендетеді. Қарғыбаудың азаюына тек жұмыс беттерін қатайту арқылы қол жеткізіледі. Демалыс 120-200°С аралығында жүзеге асырылады. Демалыстың мақсаты - қатаю кезінде пайда болған ішкі кернеулерді жеңілдету. Қатаю нәтижесінде пайда болған тетрагональды мартенсит, бұрмаланған торы бар, тұрақсыз және текше мартенситтің неғұрлым тұрақты түріне ауысуға тырысады [4]. Бұл ауысу атом торының көлемінің өзгеруіне әкеледі. Бөлме температурасында бұл ауысу өте баяу, бірнеше ай, тіпті жылдар бойы, ал жоғары температурада бірнеше сағат немесе ондаған минут ішінде жүреді. Зауыттық тәжірибеде демалыс әдетте екі дозада жүзеге асырылады: бастапқыда 1-2 сағат ішінде 150-180° шегінде қатаюдан кейін төмен температуралы демалыс жасалады, содан кейін 120-160° температурада 2-5 сағат қыздыру арқылы тегістеуден кейін жасанды қартаю. Қартаю үшін ең жақсы орта – майлы ванна. Электр кептіру шкафында 150° температурада ұзақ уақыт қыздыру жүгірудің түсін тудырады.

Бұрандалы сақиналарды термиялық өңдеу кезінде сынақ сақинасын қатайту тәжірибесі өзін ақтайды. Сақиналар партиясын бұру аяқталмас бұрын, бір сақина қатайту үшін беріледі және оның деформация дәрежесі бойынша бүкіл партияны жақсарту үшін жәрдемақы анықталады. Сынақ сақинасының бүкіл қатаю режимі қандай да бір түрде маңызды: қыздыру және салқындату ортасының температурасы және экспозиция ұзақтығы-бүкіл партия үшін ешқандай өзгеріссіз жазылып, қайталанатын. Диаметрі қалдық аустениттің ыдырауына байланысты артады.

Дәстүрлі сөндіру технологиясы үлкен еңбек шығындарын, энергия шығындарын талап етеді және эргономикалық емес. Сондықтан химиялық-термиялық өңдеу саласындағы зерттеулер және кейіннен өндіріске енгізу өзекті және уақтылы міндет болып табылады.

Материалдар және зерттеу әдістері. Тәжірибелік зерттеулер мен механикалық сынақтар «Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамының «VERITAS» озық даму орталығында және «Машина жасау» ғылыми-өндірістік кешенінде жүргізілді [5]. Ғылыми зерттеулер үшін бөлшектердің зауыттық партияларынан МЕМСТ 4543-71 (5120, 5120H – AISI, SAE, ASTM АҚШ) 20Х болаттан жасалған тәжірибелі плашкалар жасалды (2-сурет).



Негізгі 3D көрінісі

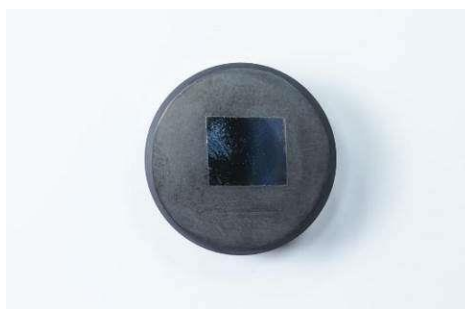
Құрастыру сызбасы

2-сурет. МЕМСТ 4543-71 (5120, 5120H – AISI, SAE, ASTM АҚШ)
20Х болаттан жасалған СБЖ плашкасы

Зерттеу үшін еркін пішінді қалыптастырушы өлшемдері бар плашкадан микрошлифтердің үлгілері кесілді (3-сурет). Тегістеуден кейін үлгілер жылтыратылып, оюланған. Хром диоксиді пастасымен жылтыратылған. 3-5 секунд ішінде 5 % азот қышқылымен уланған [6].



бастапқы күйінде



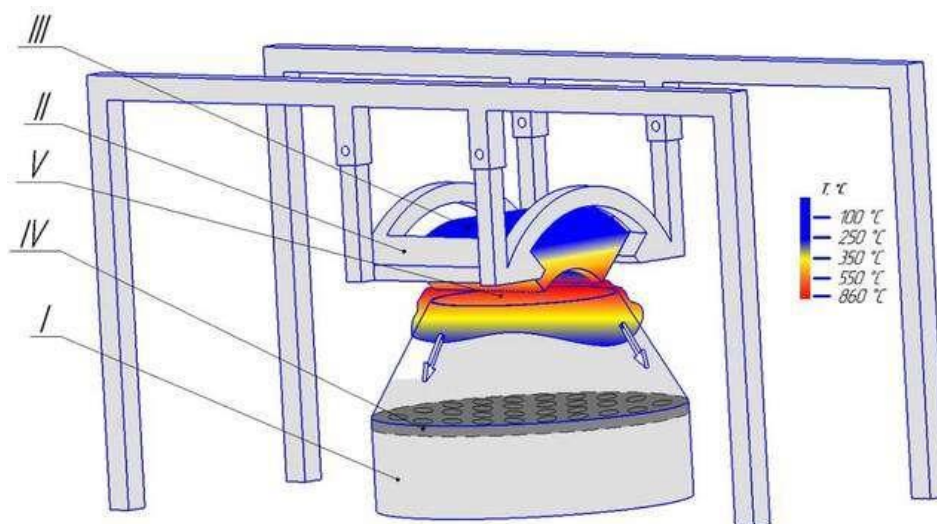
ЭПҚ қатаюынан кейін

3-сурет. МЕМСТ 4543-71 (5120, 5120Н – AISI, SAE, ASTM АҚШ) 20Х болаттан жасалған микрошлифті дайындау

Үлгілерді металлографиялық зерттеу «Sony» сандық камерасы бар «Axioscop - 2MAT» шағылысқан жарықтың инверттелген фотомикроскопында жүргізілді [7]. Сырғанау үйкелісіне арналған трибологиялық сынақтар ТНТ-s-VE-0000 трибометрінде стандартты «түйреуіш-диск» әдісін қолдана отырып жүргізілді (ASTM G 133-95 және ASTM g 99 халықаралық стандарттары) [8]. МЕМСТ 4543-71 (5120, 5120Н - AISI, SAE, ASTM АҚШ) 20Х болаттан жасалған үлгілердің «түйреуіш – диск» схемасы бойынша сырғанау үйкелісі жағдайында 12Х18Н10Т (321s31, Англия) хромоникельді аустенитті болаттан жасалған пластина бойынша сынақтар майлаусыз және ағын суда майлаумен жүргізілді, жүктеме кезінде $N = 5$ Н, жылдамдық $v = 0.05$ м / с, жүгіріс ұзындығы $L = 70$ м болды.

Нәтижелері және оларды талқылау. 12Х18Н10Т (321S31) тот баспайтын болаттан жасалған IV анодты торы бар I жұмысшы конустық саптамасында электролит -10% сода күлі анодты тордың тесіктері арқылы III катод-плашкасымен жанасады. Қуат көзі катод пен сұйық электролит арасында қосылған кезде бу-газ қабығы пайда болады, ол пленканың қайнауымен бірге жүреді [9]. Осы қысқа уақыт аралығында электролиттің құрамдас бөліктері иондалады және жоғары температурадағы (6000К-тан астам) электролиттік плазма қозады. Плашка II қысқыш механизміне орнатылады. Электролит кері беру жүйесі арқылы жұмыс ваннасына айналады. Өздеріңіз білетіндей, плазманың температурасы құрылымдық фазалық түрлендірулердің температурасынан едәуір асып түседі, сондықтан біз электролиттік-плазмалық өңдеу режимдерін эксперимент арқылы анықтадық. Сөндіру электролит ағынында жүзеге асырылады, циклдік өңдеу кезінде ең жақсы нәтижеге қол жеткізіледі [10].

Тәжірибелі түрде МЕМСТ 4543-71 (5120, 5120Н – AISI, SAE, ASTM АҚШ) 20Х болаттан жасалған балшыққа арналған қыздыру температурасы дәстүрлі қатайту мен пешке жіберуге қатысты 840-860 °С дейін төмендеді. Бұл температурада фазалық түрлендірулер ұштың бетінде басталады және циклдік өңдеу кезінде металдың тереңдігіне енеді. ЭПҚ ұшының температуралық өрістерін аналитикалық зерттеу электролит-плазмалық процестің оңтайлы технологиялық параметрлерін орнатуға немесе оларды материалдардың қасиеттерін ескере отырып түзетуге мүмкіндік береді [11].



4-сурет. СБЖ плашканың ЭПҚ жұмыс саптамасының 3D үлгісі: I – конустық саптама, II – қысу механизмі, III – катод-плашкасы, IV – анод торы, V – электролитті плазма

Плазма температурасынан жоғары жылдамдықты қыздыру белгілі бір τ_0 уақыт аралығында айналмалы түрде бір τ_0 бөліктің плазмалық өңдеуінің жалпы ұзақтығымен жүзеге асырылады. Плазманың қыздыру температурасының аралықтары арасындағы алшақтық бірдей және τ тең. Плазма температурасынан туындайтын Джоуль жылу көздері плазманың жанасу жазықтығында диаметрі $2r_0$, (плазма конусының жоғарғы нүктесінің диаметрі, 4-сурет) жанасу нүктесінде шоғырланған [12]. x, y, z координаттары бойынша және уақыт бойынша көздердің жылу тығыздығы Гаусс функциясымен сипатталады. α жылу беру ауа конвекциясы және ұшы мен сұйық электролит арасындағы байланыс жылу беру нәтижесінде плазма температурасынан (<6000 К) жылу беруден – 10 % сақиналы содадан тұрады (4-сурет).

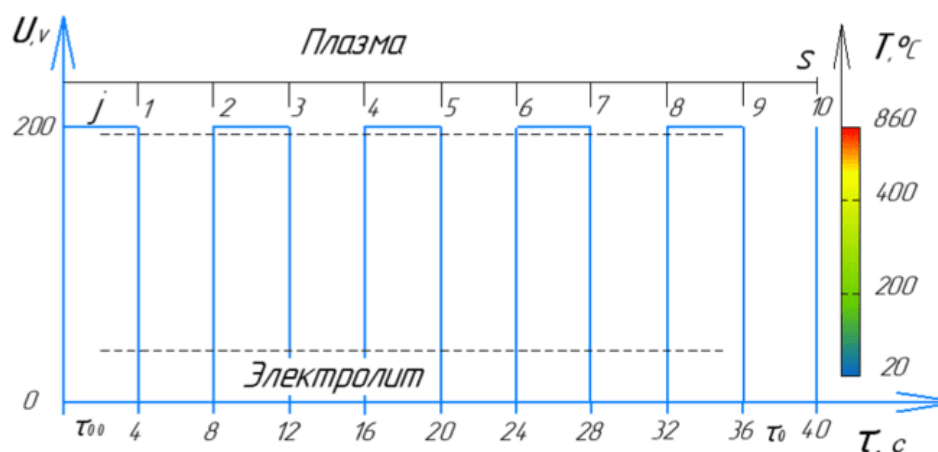
Көрсетілген болжамдарда жылу өткізгіштіктің дифференциалдық теңдеуі келесідей болады (1):

$$T = A \sum_{k,m,n=0}^{\infty} \sum_{j=1}^s B(k,m,n) \times \left[1 + \operatorname{erf} \left(\tau \sqrt{b_1} + \frac{b_2(k,m,n)}{2\sqrt{b_1}} \right) \right] \exp(-a\lambda^2(k,m,n)\tau) \times \cos(b(k)x) \cos(c_1(m)y) \cos(d(n)z), \quad (1)$$

мұндағы T – температураның өсуі; A – жылу мөлшері; ЭПҚ кезінде ұшына түскен b_1 бірінші аймағының b_2 екінші аймағына дейін; B – ішкі (Джоульдік) жылу көздерінің функциясы; k,m,n эквидистант – x,y,z координаттары; τ – уақыт; α – температура өткізгіштік коэффициенті; λ – коэффициент дайындаманың жазық бетінің қоршаған ортамен жылу алмасуы; p – ұштық материалдың жылу сыйымдылығы мен тығыздығы; j – плазманың әсер ету циклінің нөмірі; s – ЭПҚ кезіндегі ұштық циклдар саны; c_1, b, d – жанасу нүктесінен жылуды тарату плашкасының параметрлері [13].

Есептеу кезінде температура ұштың ортасында температура ұштық материалдың фазалық өзгеруінің T температурасына тең немесе одан сәл асатындай етіп орнатылады. (1) өрнегін қолдана отырып, қатайтылатын ұштың температурасын есептік зерттеу келесі негізгі бастапқы деректерде жүргізілді: дайындама материалы 20Х болат, $b_1=400$ Дж/(кг·°C), $p=7800$ кг/м³, $\lambda =32$ Вт/(м·°C), $a=1 \cdot 10^{-5}$ м²/с, $c_1=0,0305$ м, $b =0,0542$ м, $d =0,0905$ м, $\tau_0=4$ с, $\tau_0=40$ с, $\alpha=(\alpha_1+\alpha_2)/2$ при $b_1=10$ и $b_2=1000$ Вт/(м²·°C) [14].

Бірқатар тәжірибелер электролиттік плазманы қатайту үшін қыздырудың максималды температурасы шамамен анықталды уақыт сәтінде $\tau_1 = \tau_0 = 4$ с $T_{қыз} = 840-860$ °C.



5-сурет. Циклдік электролиттік-плазмалық қатайту

Электролит ағынында дәйекті қатаю кезінде электролиттегі плашканың максималды қатаю температурасы $T_{\text{қор}} = 130\text{--}260\text{ }^{\circ}\text{C}$ -қа жетеді, бұл электролит ағынының айналымы арқылы плашканың қыздыру аймағынан жылудың бөлінуімен түсіндіріледі – сода күлі 10 %. Жету уақыты $T_{\text{қор}}$ екінші нүктеде $\tau_2 = \tau_{00} + \tau_1 = 8\text{ с}$. Осы кезде электролиттің жылу өткізгіштігі мен қоршаған ортаға жылу беру әсерінен плашка температурасы төмендейді [15].

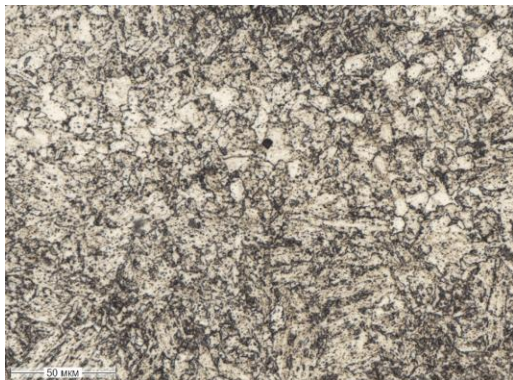
Циклдік электролит-плазмалық қататуды максималды плазма температурасының одан да жоғарылауына және электролит ағындарының температураның төмендеуіне әкеледі.

Уақыт өте келе, шамамен $s_j = 10$ цикліне дейін, $\tau = 40$ секундта плазма температурасынан максималды қыздыру және жоғарыда аталған факторлардың әсерінен плазманың бүкіл қимасы бойынша қатаю орын алатынын эксперименталды түрде анықтады [16].

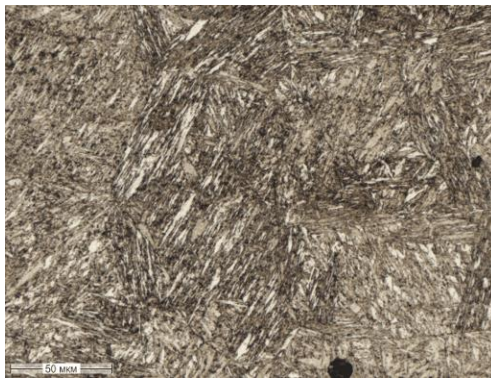
Құрастырылған аналитикалық модельді тексеру үшін дақ бетінің микроқұрылымына термиялық әсерді және тозуға төзімділікті салыстыру үшін тәжірибе жүргізілді. ЭПҚ-дан кейін сандық модельдеу нәтижелерімен ақырлы элементтер әдісімен және тозуға төзімділікті арттыратын тәжірибелік мәліметтермен салыстыру жұмыс беті жасалды [17].

МЕМСТ 4543-71 (5120, 5120H – AISI, SAE, ASTM АҚШ) 20X болаттың микроқұрылымы бастапқы күйінде ірі түйіршікті перлит-феррит құрылымын білдіреді, 6 а сурет. Ең жеңіл аймақтар α -темір және сәл күнгірт – перлит. α -ферриттің микроқұрылымында ұсақ дисперсті Сг легирлеуші элементтерінің болуы деформация және қатайту салқындату кезінде тозуға төзімділікті жақсартады, пластикалық фазалық аймақтар деформацияланған кезде олардың релаксациясы арқылы уақытша және қалдық кернеулердің деңгейін төмендетеді [18].

МЕМСТ 4543-71 (5120, 5120H – AISI, SAE, ASTM АҚШ) 20X болаттың микроқұрылымында жоғарыда сипатталған ЭПҚ-дан кейін ұсақ түйіршікті микроқұрылымның пайда болуы, сондай-ақ астық денесінде және аустенит дәндерінің шекараларында карбидтердің түзілуі байқалады, (6, б сурет) циклді электролиттік плазмалық қатайту кезінде $840\text{--}860\text{ }^{\circ}\text{C}$ температураға дейін және ағында қатайту кезінде $130\text{--}260\text{ }^{\circ}\text{C}$ температурада электролит, құрылымы жеңіл-қатты уланған және қараңғы жерлердің тіркесімі болып табылады. Қараңғы жерлер – мартенсит, жарық – α -феррит. Феррит аймақтары жеке дәндерге бөлінеді, дәндер арасындағы шекаралар феррит-мартенсит олар карбидті төрмен безендірілген.



а) бастапқы күйінде



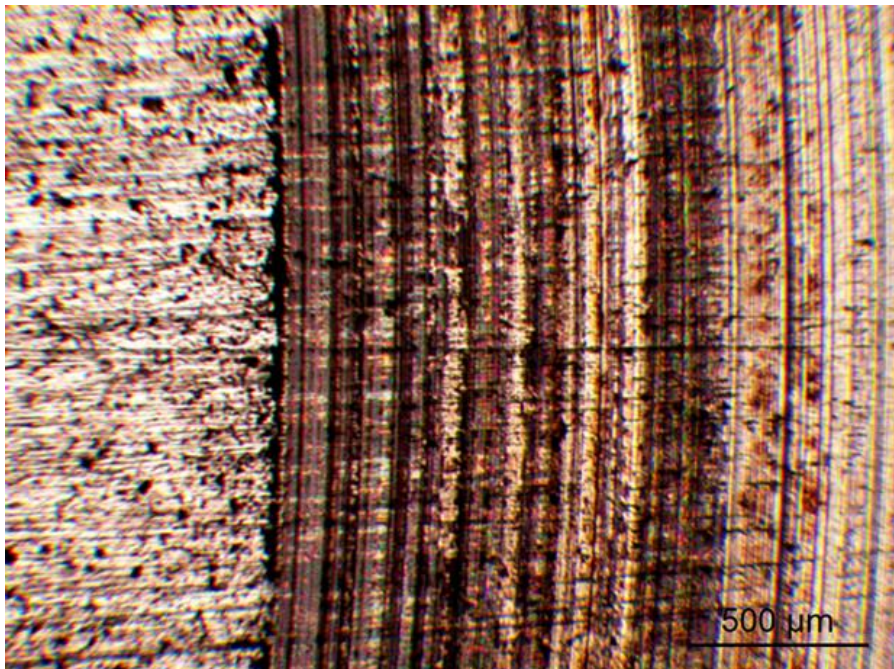
б) ЭПК қатайтудан кейін

6-сурет. MEMCT 4543-71 (5120, 5120H – AISI, SAE, ASTM США)
20X болаттың микроқұрылымы

Термиялық ЭПК-дан кейін кристалл аралық коррозияға қарсы тұрақтылық жоғары жылдамдықты сөндіру кезінде электролит содасының 10% ыдырауынан көміртегі иондарының қанығуымен қамтамасыз етіледі.

СБЖ жұмыс істеген кезде плашканың тозу механизмі күрделі және абразивті, адгезиялық және диффузиялық тозуды қамтиды. Осыған байланысты үлгілердің бастапқы күйіндегі және ЭПК-дан кейінгі трибологиялық қасиеттері зерттелді. Сынақ шарттары СБЖ пайдалану шарттарына жақын таңдалады. Трибологиялық қасиеттер бірқатар сынақтардың нәтижелері бойынша анықталды.

Сынақтан кейін қарсы денеде MEMCT 4543-71 (5120, 5120H – AISI, SAE, ASTM АҚШ) 20X болат үлгісінен бағытталған тәуекелдер байқалады (7-сурет). Сынақтың басында құрғақ үйкеліс коэффициентінің мәні 0,2-ден орташа есеппен 0,25-ке дейін артады, ол сырғанау кезінде үйкелетін «болат-болат» материалдарына сәйкес келеді [19].



7-сурет. 12X18H10T қарсы дененің тозу қаупі

MEMCT 4543-71 (5120, 5120H – AISI, SAE, ASTM АҚШ) 20X болат үлгілерінің үйкеліс коэффициенті 840-860 °С температураға дейін циклдік электролиттік-плазмалық қатайту кезінде және 130-260 °С температурада электролит ағынында қатайту кезінде ЭПҚ-дан кейін, орта есеппен 0,25-тен 0,18-ге дейін төмендейді және үйкеліс аяқталғанға дейін осы деңгейде қалады.

Трибологиялық қасиеттерді салыстырмалы талдау нәтижелеріне сәйкес, ЭПҚ MEMCT 4543-71 (5120, 5120H – AISI, SAE, ASTM АҚШ) 20X болат майлаусыз тозу қарқындылығының айтарлықтай 2,36 есе төмендеуіне әкеледі, жабысқақ тозу жағдайында, үйкелісті қыздыру болмаған кезде, сондай-ақ майлаудың қатысуымен болат пластинада сырғанау үйкелісі кезінде, шекаралық жылу жағдайында үйкеліс.

Бастапқы күйдегі және ЭПҚ-дан кейінгі үлгілердің трибологиялық сипаттамалары тозу қарқындылығымен және үйкеліс коэффициентімен сипатталды (2-кесте). ЭПҚ үлгілерінен кейін құрғақ үйкеліс жағдайында тозуға төзімділіктің жоғарылауы байқалады.

2-кесте. MEMCT 4543-71 (5120, 5120H – AISI, SAE, ASTM США)
20X болаттың трибологиялық қасиеті

№	Үлгі күйі	Трибологиялық қасиеті			
		маймен үйкеліс		майсыз үйкеліс	
		Ph, мм ³ /(Н*м)	f	Ph, мм ³ /(Н*м)	f
1	Бастапқы	2,74×10 ⁻⁶	0,11	4,83×10 ⁻⁴	0,25
2	ЭПҚ-дан кейін	1,07×10 ⁻⁶	0,07	2,04×10 ⁻⁴	0,18

ЭПҚ кейін 12X18H10T (321S31) аустенитті тот баспайтын болаттан жасалған пластинадағы майлағышпен сырғанау үйкелісі жағдайында MEMCT 4543-71 (5120, 5120H – AISI, SAE, ASTM АҚШ) 20X болатының бастапқы құрылымдық күйлері үшін тозу қарқындылығының 2,56 есе төмендеуі байқалды, 2-кесте [20].

Осылайша, плазмалық электролитті сөндірудің қарастырылған нәтижелері жергілікті бетті қатайту үшін қолданудың жақсы перспективаларын көрсетеді. Жоғары жылдамдықты электролиттік – плазмалық MEMCT 4543-71 (5120, 5120H-AISI, SAE, ASTM АҚШ) 20X болатты қатайту еңбек сыйымдылығын, энергия шығынын айтарлықтай азайтады және процесті автоматтандыруға жақсы мүмкіндік береді.

Қорытынды:

1. Аналитикалық және тәжірибелік зерттеулер MEMCT 4543-71 (5120, 5120H-AISI, SAE, ASTM АҚШ) 20X болаттан жасалған 840-860 °С дейін электролиттік – плазмалық қыздырудың оңтайлы температурасын және 130-260 °С температурада электролит ағынында сөндіруді анықтады.

Плашканың циклдік электролиттік-плазмалық қатайту режимдері математикалық түрде есептелді. Электролиттік плазмадан плазманың қыздыру температурасы $T_{қыз} = 840-860^{\circ}C$, уақыт сәтінде қол жеткізіледі $\tau_1 = \tau_{00} = 4$ с. электролит ағынындағы қатайту уақыты $T_{кор} = 130-260^{\circ}C$ $\tau_2 = \tau_{00} + \tau_1 = 8$ с. тәжірибелі түрде $s_j = 10$ циклдарының жалпы саны анықталды және $\tau = 40$ секундта плазма температурасынан және бүкіл көлденең қимада қатайту максималды қыздыру орын алады, Бұл режимдерде болатты қатайтатын құрылымдық-фазалық өзгерістер орын алады.

2. MEMCT 4543-71 (5120, 5120H-AISI, SAE, ASTM АҚШ) 20X болатының құрылымдық – фазалық түрленуі циклдік ЭПҚ-дан кейін шынықтыру мартенситі және α -феррит болып табылады. Бұл жағдайда кристаллалық коррозияға қарсы тұрақтылық

камтамасыз етіледі, ол электролит содасының 10% ыдырауынан көміртегі иондарымен қанықтыру және жоғары жылдамдықты сөндіру арқылы жүзеге асырылады.

3. Бастапқы күйдегі және ЭПК-дан кейінгі үлгілердің трибологиялық сипаттамалары плашка үлгілерінің жұмыс бетінің тозу қарқындылығымен сипатталды. ЭПК-дан кейін құрғақ үйкеліс жағдайында үлгілердің тозуға төзімділігінің жоғарылауы байқалады. Трибологиялық қасиеттерді салыстырмалы талдау нәтижелеріне сәйкес, MEMCT 4543-71 (5120, 5120H-AISI, SAE, ASTM АҚШ) 20Х болатының электролиттік–плазмалық қатаюы майлаусыз тозу қарқындылығының 2,36 есе төмендеуіне әкеледі. 12Х18Н10Т (321S31) аустенитті тот баспайтын болаттан жасалған пластина бойынша жағармаймен сырғанау үйкелісі жағдайында MEMCT 4543-71 (5120, 5120H – AISI, SAE, ASTM АҚШ) 20Х болатының бастапқы құрылымдық күйлеріне қатысты тозу қарқындылығының ЭПК-дан кейін 2,56 есе төмендеуі анықталды.

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

References

1. Kombayev, K., Kim, A., Yelemanov, D., Sypainova, G. Strengthening of Low-Carbon Alloy Steel by Electrolytic-Plasma Hardening // International Review of Mechanical Engineering this link is disabled, 2022. – No.16(2). – Pp. 84-91.
2. Kombayev, K., Muzdybayev, M., Muzdybayeva, A., Myrzabekova, D., Wieleba, W., & Leśniewski, T. Functional Surface Layer Strengthening and Wear Resistance Increasing of a Low Carbon Steel by Electrolytic-Plasma Processing // Strojniški vestnik-Journal of Mechanical Engineering, 68(9), 542-551.
3. ASTM E1558-09(2014), Standard Guide for Electrolytic Polishing of Metallographic Specimens, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014, www.astm.org
4. Smyrnova, K., Sahul, M., Haršáni, M., Pogrebniak, A., Ivashchenko, V., Beresnev, V., ... & Vanco, L. Microstructure, Mechanical and Tribological Properties of Advanced Layered WN/MeN (Me= Zr, Cr, Mo, Nb) Nanocomposite Coatings.// Nanomaterials 2022. No.12. – Pp. 395.
5. Pogrebniak, A.D., Beresnev, V.M., Bondar, O.V., Postolnyi, B.O., Zaleski, K., Coy, E., Araujo, J.P. Superhard CrN/MoN coatings with multilayer architecture // Materials & Design, 2018. – No.153. – Pp. 47-59.
6. Mikhail Doudkin, Kuat Kombayev, A.I. Kim, Bagdad Azamatov, Zhanerke Azamatova. 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. – No.10. – Issue 2. – Pp. 747–758,
7. Mikhalev, A.D., Dyadyura, K.A., Lebedynskiy, I., Bratushka, S.N., & Kravchenko, Y.O. (2019). Structure, morphology, and elemental-phase composition of j02002 steel as a result of electrolytic-plasma processing. High Temperature Material Processes // An International Quarterly of High-Technology Plasma Processes, 2019. – No. 23(1). – Pp. 70-81.
8. Korzhyk, Volodymyr, Yuriy Tyurin, and Oleg Kolisnichenko. "Surface modification of metal products by electrolyte plasma" // Kharkiv: pc technology center, 2021. – Pp.180-185.
9. 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. – Almaty, nas rk, 2017, no.4(424), pp. 219-225.
10. Popov, A. I., Radkevich, M. M., & Teplukhin, V. G. Thinnest finishing treatment with a focused jet of electrolytic plasma. // In Advances in Mechanical Engineering, 2020. – Pp. 139-149.
11. Ayday, Aysun, Derya Kirsever, and A. Şükran Demirkıran. "The Effects of overlapping in electrolytic plasma hardening on wear behavior of carbon steel" // Transactions of the Indian Institute of Metals, 2022, pp. 27-33.
12. Dayanç, A., B. Karaca, and L. Kumruoğlu. "The cathodic electrolytic plasma hardening of steel and cast iron based automotive camshafts" // Acta Physica Polonica, 2017. – Pp. 374-378.
13. Mikhalev, A.D., et al. "Structure, morphology, and elemental-phase composition of j02002 steel as a result of electrolytic-plasma processing" // High Temperature Material Processes: An International Quarterly of High-Technology Plasma Processes 23.1,2019

14. Miller, D.J., Dreyer, D.R., Bielawski, C. W., Paul, D.R., & Freeman, B.D. Surface modification of water purification membranes// *Angewandte Chemie International Edition*, 56(17), 2017. – Pp. 4662-4711.
15. Wieleba, W., The role of internal friction in the process of energy dissipation during PTFE composite sliding against steel // *Wear*, 2005. – No. 258(5-6). – Pp. 870-876.
16. Wieleba, W., The mechanism of tribological wear of thermoplastic materials // *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 2007. – No. 7(4). – Pp. 185-199.
17. Rakhadilov, B.K., Kenesbekov, A.B., Sagdoldina, Z.B., & Stepanova, O.A. Tribological And Corrosion Characteristics Of Coatings Based On Chromium Nitride Deposited By The Mechanochemical Method // *In Journal of Physics: Conference Series*, 2020. – Vol. 1529. – No. 4. – P. 042-101.
18. Kengesbekov, A., Rakhadilov, B., Sagdoldina, Z., Buitkenov, D., Dosymov, Y., Kylyshkanov, M. Improving the Efficiency of Air Plasma Spraying of Titanium Nitride Powder // *Coatings*, 2022. – No. 12. – Pp. 1644.
19. Ptak, A., Taciak, P. and Wieleba, W., 2021. Effect of Temperature on the Tribological Properties of Selected Thermoplastic Materials Cooperating with Aluminium Alloy // *Materials*, 2021. – No.14(23). – P. 7318.
20. Pawlak, W., Wieleba, W. and Wróblewski, R., Research of tribological properties of polylactide (PLA) in the 3D printing process in comparison to the injection process // *Tribologia*, 2019. – Pp. 510-520.