

Қ.И .Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

ӘОЖ 622.7.029

Қолжазба құқығында

КОЖА ЕРКИН

Электролиттік-плазмалық өңдеу әдісінің көмегімен металл қорытпаларының бетінде керамикалық қорғаушы қабаттар алу

6D071000 – Материалтану және жаңа материалдар технологиясы
Философия докторы(PhD)
дәрежесін алу үшін дайындалған диссертация

Ғылыми кеңесшілері:
профессор Д.У. Смагулов,
Professor Baishan. Shadke.

Қазақстан Республика
Алматы, 2022

МАЗМҰНЫ

Нормативтік сілтемелер	
Белгілеулер мен қысқартулар	
Кіріспе	6
1 Болаттар мен алюминий қорытпаларының беткі қабатының беріктігін арттыру әдістері	10
1.1 20Х Болатының беттік қаттылығының физика-химиялық негіздері	10
1.2 Болаттарды химия –термиялық өңдеу	11
1.3 Қатты карбизатордағы цементация	13
1.4 Газды ортада цементациялау және нитроцементация	19
1.5 Болатты беттік шынықтыру әдістері	20
1.5.1 Электролиттік-плазмалық өңдеу әдісі	20
1.5.2 Электролиттік-плазмалық өңдеудегі термоциклді шынықтыру	34
1.5.3 Өндірістік жағдайда 20Х болатының беткі қабатында пайда болатын ақаулар	36
1.5.4 Болаттың бетін беріктендіру үрдістерін тездету жолдары	38
2 Зерттеу әдістері	42
2.1 Зерттеу әдістерімен аспаптары	42
2.1.1 Микроұлгіні (микрошлиф) дайындау	43
2.1.2 Микроскопиялық талдау	44
2.1.3 Болаттың қаттылығын өлшеу	44
2.1.4 Беттің тегістігін өлшеу	47
2.1.5 Растрлы элементтік талдау	48
2.1.6 Рентген құрылымдық талдау	50
3 Тәжірибелік зерттеу нәтижелері	52
3.1.1 Лабораториялық электролиттік-плазмалық өңдеу қондырғысын жасау	52
3.2.1 Металл материалдарды электролиттік-плазмалық өңдеу процесін модельдеу	61
3.2.2 Плазмалық-электролиттік өңдеудің 20Х болатының механикалық қасиеттеріне әсері	69
3.2.3 20Х болатынан жасалған бұрғы құралын плазмалық-электролиттік өңдеу технологисын жасау	73
4 Алюминий қорытпаларын плазмалық-электролиттік өңдеу	76
4.1 Алюминий қорытпаларын плазмалық-электролиттік өңдеу режимдері	78
4.2 Плазмалық-электролиттік өңдеу кезінде Д16 алюминий қорытпасының фазалық құрамы мен құрылысының және қасиеттерінің өзгеруі	79
4.3 Плазмалық-электролиттік өңдеу кезінде АК7 қорытпасының фазалық құрамы мен құрылысының және қасиеттерінің өзгеруі	81
4.4 Электролиттік-плазмалық өңдеу кезінде АК7 қорытпасында жүретін құрылымдық өзгерістер	83
4.5 Плазмалық өңдеу нәтижесінде Д16 алюминий қорытпасының	

	микроқаттылығы мен үйкеліске төзімділігінің өзгеруі	86
5	Ыстыққа төзімді алюминий қорытпаларынан алынған бөлшектерді плазмалық-электролиттік өңдеу(ПЭО) технологиясын жасау	89
5.1	Ыстыққа төзімді конструкциялық жаңа алюминий қорытпасын алу	90
5.2	Ыстыққа төзімді алюминий қорытпаларынан жасалған бөлшектерді плазмалық-электролиттік өңдеу технологиясын жасау	92
5.3	ЭЦН жұмысшы бөлшектерін алюминий қорытпасынан дайындаудың жаңа технологиясы	95
	ҚОРЫТЫНДЫ	98
	ҚОЛДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ	101
	ҚОСЫМША А	108
	ҚОСЫМША Ә	109
	ҚОСЫМША Б	110

НОРМАТИВТІК СІЛТЕМЕЛЕР

Диссертациялық жұмыста келесі сілтемелерге сәйкес нормативтік құжаттар пайдаланылған.

Диссертациялық жұмыстың тұжырымдамасы, ВАК, Алматы, 2004ж.

ГОСТ 7.1-2003 Библиографиялық жазу сипаттамасы. Жалпы талаптар және құрастыру ережелері.

ГОСТ 7.32-2001 Ғылыми-зерттеу жұмыстары туралы есептер. Құрылысы және құрастыру ережелері.

ГОСТ 2.105-95 Конструкторлық құжаттардың біріккен жүйесі. Жазба құжаттарға қойылатын жалпы талаптар.

ГОСТ 7.54-88 Ақпараттық, библиотехналық және басу жұмыстары жөніндегі стандарттар жүйесі. Ғылыми – техникалық құжаттарда заттар мен материалдардың қасиеттері туралы сандық мәліметтерді келтіру. Жалпы талаптар.

ГОСТ 3443-87 Оптикалық микроскофия.

ГОСТ 2407-83 Ағаш көмірлі карбюратор.

ГОСТ 15.011-82 Өнімді жасау және оны өндіріске енгізу жүйесі. Патенттік зерттеулерді жүргізу жүйесі.

ГОСТ 8.417-81 Өлшеулердің бірлестігін қамтамасыз ететін Мемлекеттік жүйе. Физикалық шамалардың өлшемдері.

ГОСТ 5535-76 Жартылай коксты карбюратор.

ГОСТ 9450–76 Микроқаттылықты өлшеу.

ГОСТ 21006-75 Электрондық микроскопия.

ГОСТ 2789 – 73Беткі қабаттың сапасы, бедерлігі, көрсеткіштері және сипаттамасы.

ГОСТ 4543-71 Болат 20Х.

ГОСТ 2.111-68 Конструкторлық документтердің біріккен жүйесі. Нормативтік бақылау.

ГОСТ 9327-60 Қағаз және қағаз өнімдері, форматтары.

ГОСТ-5639 Кристалдық түйіршіктердің өлшемдері.

БЕЛГІЛЕУЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР

ЭПӨ	–	Электролиттік-плазмалық өңдеу
АҚ «УЗПА»	–	АҚ «Өскемен өндірістік арматура» заводы
ХТӨ	–	химия-термиялық өңдеу
ЭДС	–	Электр қозғаушы күші
«ІРГЕТАС»	–	Инженерлік зертхана
«Алтай»	–	Ғылыми-техникалық аймақ
ҚД,АДД, ЭД	–	Қолмен дәнекерлеу,автоматы доғалы дәнекерлеу,электірлі дәнекерлеу.
ТЦӨ	–	Термоциклді өңдеу
«Axioscop - 2МАТ»,	–	оптикалық микроскоп
«МИМ – 7»	–	Оптикалық металлографиялық микроскоптар
JSM-6390LV	–	Сканерлеушы электронды микроскоп
ИПН160/600-III	–	Тұрақты ток көзі
П→А	–	Перлиттың аустенитке айналуы
А→М	–	Аустениттің мартенситке айналуы
МС	–	Майлы шынықтыру ортасы
ЭХӨ	–	Электрохимиялық өңдеу
«X'PertPRO»	–	Рентгендік дифрактометр
АШ	–	Алмас шеңберлері
ПГ-10Н-04, ПГ-СР2,	–	
ПС-12НВК	–	Ұнтақты қорытпалар

КІРІСПЕ

Зерттеудің маңыздылығы. Отандық шикізаттардан жаңа материалдар және олардан дайын бұйымдар алудың тиімділігі жоғары технологияларын жасауға бағытталған ғылыми зерттеулер Қазақстан Республикасының инновациялық-индустриалды дамуының өзекті мәселесі болып табылады. Даяр бұйымдар жасауға қолданылатын қорытпаларды легірлеу және модификациялау, немесе олардың беткі қабатын өңдеудің жаңа прогрессивтік технологиялары, машина және механизмдер бөлшектерінің сенімділігі мен ұзаққа төзімділігін арттыру бағытында өзекті мәселелерді шешуге мүмкіндік береді. Қазіргі уақытта болаттардан жасалған жауапты бөлшектер жұмысының ұзақ мерзімділігі, абразивті және соққы-абразивті үйкеліске төзімділігі газды цементация және одан кейінгі шынықтырумен қамтамасыз етілген. Мұндай бөлшектерді өңдеу технологиясының негізгі кемшіліктері: азкөміртекті болат бұйымдардың жұмыс барысында формасының өзгеруі, морттығы артып, термиялық жарықтардың пайда болуы, аса көп еңбек және энергия шығындарын қажет етуі. Сондықтан мұндай қондырғыларға қатысты бөлшектер үшін жаңа прогрессивтік өңдеу технологиясын қолдану аса өзекті мәселе болып табылады.

Атап айтқанда, қазіргі кезде бөлшектің беткі қабатына жоғары дәрежеде шоғырланған энергиямен әсер ету әдісі кең қолданыс тапқан. Олардың ішінде экологиялық тұрғыдан таза, ең тиімді, энергия үнемдеуші электролиттік-плазмалық өңдеу (ЭПӨ) әдісі болып табылады. ЭПӨ кезінде жоғары температуралық плазмада пайда болатын элементтердің иондық электр разрядының әсер етуі нәтижесінде жұқа беттік қабаттың фазалық құрамы мен құрылысында терең өзгерістер орын алады. Осының нәтижесінде бөлшектердің үйкеліске төзімділігі мен қаттылығы артады.

Жұмыстың жалпы сипаттамасы. Диссертациялық жұмыс аз көміртекті легірленген болаттар мен алюминий қорытпаларынан жасалған мұнай-газ құрылғылары бөлшектерін термоциклды электролиттік-плазмалық өңдеудің оптимал режимдерін анықтауға және өңдеу технологиясын жасауға арналған. Жұмыс барысында теориялық және қазіргі заманғы тәжірибелік әдістерді (металлографиялық, растрлы электронды-микроскопиялық және рентген-құрылымдық талдау, сонымен бірге металл қорытпаларының механикалық қасиеттерін, үйкеліске төзімділігін зерттеу әдістерін) қолдана отырып, электролиттік - плазмалық өңдеу (ЭПӨ) кезінде металдың бетінде керамикалық қорғаушы қабаттардың құрылу ерекшеліктері зерттелді. ЭПӨ кезінде металдың беттік қабатын арнайы легірлеуге және модификациялауға болатыны көрсетілді.

Ғылыми зерттеулер нәтижесінде құрылғы бөлшектерін электролиттік-плазмалық өңдеудің тиімді режимдері анықталды. Мұнай-газ қондырғылары бөлшектері үшін, еңбек және электр шығындарын аз талап ететін және экологиялық таза, электролиттік-плазмалық өңдеу технологиясын өндіріске енгізудің тиімді екені техникалық-экономикалық тұрғыдан дәлелденді.

Жұмыстың мақсаты: металдар мен олардың негізіндегі қорытпаларды электролиттік-плазмалық өңдеуге арналған жаңа лабораториялық ЭПӨ қондырғысын жасау. Мұнай қондырғыларының жауапты бөлшектерін жасауға қолданылатын аз легіріленген болаттар мен алюминий қорытпаларының беттік қабатының беріктігін және үйкеліске төзімділігін арттыру үшін тиімділігі жоғары, электр энергия шығыны аз және экологиялық таза электролиттік-плазмалық өңдеу ЭПӨ технологиясын жасау.

Зерттеу тапсырмалары:

– электролиттік-плазмалық өңдеу режимдеріне байланысты азлегіріленген болаттардың, алюминий қорытпаларының беттік қабаттарының фазалық құрамы мен құрылысының қалыптасу ерекшеліктерін зерттеу;

– мұнай өндіруде қолданылатын қондырғылардың болаттан жасалған бөлшектерінің беткі қабаттарын электролиттік-плазмалық өңдеудің өндірістік тұрғыдан тиімді режимдерін анықтау;

– электролиттік-плазмалық өңдеуден өткен, беріктігі жоғары мұнай қондырғысы бөлшектерін алудың технологиялық жобасын жасау.

Зерттеу әдістері: Электролиттік-плазмалық өңдеуден кейін болаттан жасалған мұнай қондырғысы бөлшектерінің беткі қабатының фазалық құрамы мен құрылысын зерттеу «МИМ-7», сандық фотокамералары бар «Sony» және «Axioscop-2MAT» оптикалық микроскоптарының көмегімен жүргізілді. Қорытпа үлгілерінің микроқаттылығы МЕСТ 9450-76 стандартына сәйкес «ПМТ-3» қондырғысында анықталды. Үлгінің электролиттік-плазмада өңделген беткі қабатының химиялық құрамы INCAEnergy фирмасы «OXFORD Instruments» энергодисперсті микроанализді қосымшасы бар JEOL (Жапония) растрлы электронды микроскобында зерттелді. Металл үлгілерінің құрылымдық фазалық талдауы $Cu-K\alpha$ сәулеленуін қолдана отырып, «X'Pert PRO» фирмасының «PANalytical» дифрактометрінде жүргізілді. Механикалық беріктілігі мен үйкеліске төзімділігі зертханалық қондырғыларда анықталды.

Ғылыми жаңалығы:

– диссертациялық жұмыста электролиттік-плазмалық өңдеу (ЭПӨ) режиміне байланысты аз легіріленген болат үлгілерінің беткі қабаттары наноқұрылымды мартенситтен, карбиттермен нинтерметалдар түйірішіктерінен тұратыны анықталды;

– өңдеу кезінде болаттың беткі қабатының фазалық құрамы мен құрылысының өзгеру механизмі анықталды; кальцийлендірілген соданың (Na_2CO_3) судағы ерітіндісі арқылы электр тоғын өткізгенде, электр-газдық разрядтың нәтижесінде плазма пайда болады. Жоғары температуралық плазманың құрамында пайда болатын көміртегі иондары болаттың беткі қабатына диффузиялық жолмен еніп, карбидтік фазалар құрады;

– құйма болаттың беткі қабатында, ЭПӨ-ның әсерінен, Fe, $Cr_{0,6}Fe_{1,4}$ және $Fe_{2,7}C_{0,8}Ni_{0,1}$ сияқты химиялық қосылыстар негізіндегі фазалар құрылады; сонымен бірге электролиттік-плазмалық өңдеуден кейін болаттардың құрылысында, жоғарыда аталған фазалардан басқа, болаттың үйкеліске төзімділігі мен беттік беріктігін қатты жоғарылататын, цементит Fe_3C пайда болады;

– ЭПӨ–ден өткен азкөміртекті және азлегіріленген болаттардың беткі қабаттарының құрылысы екі бөліктен тұратыны анықталды; болаттардың бетінде алдымен қалыңдығы шамамен 100 мкм болатын, құрылысы айқын көрінбейтін, ЭПӨ–дің әсерінен физика-химиялық тұрғыдан айрықша өзгерген (легіріленген, шыныққан т.б) қабат пайда болады;оның астында мартенситтік қабат құралады;одан соң ол бірте-бірте негізгі феррит-перлиттік құрылысқа өтеді; фазалық құрамы, құрылысы және қасиеттері өзгерген беткі қабаттың жалпы қалыңдығы 1000-1700 МПа жетеді;

– болаттың мұндай наноқұрылымды беткі қабатының қаттылығы бастапқы мәннен екі есе, ал үйкеліске төзімділігі 3-4 есе артық болады; шынықтырылған қабаттың қалыңдығы мен қаттылығы ЭПӨ–дің режимдеріне байланысты болады; ЭПӨ кезіндегі болаттың беткі қабатының сапасына әсер ететін негізгі факторлар: ток кернеуі, қыздыру және шынықтыру уақыты.

– ЭПӨ–ден өткен алюминий қорытпаларының беткі қабаттарының фазалық құрамы мен құрылысы шектен тыс қаныққан алюминийдің негізіндегі катты ертіндісінің нанотүйіршіктерінен тұратыны анықталды; беткі қабаттың микроқаттылығы 700-800 МПа жетеді, ал үйкеліске төзімділігі таза алюминийге карағанда 4-5 есе артады.

Жұмыстың негізгі артықшылықтары мен практикалық маңыздылығы. Ұсынылып отырылған ЭПӨ технологиясының негізгі артықшылықтары:

- ЭПӨ кезінде даяр бұйымның негізгі көлемдік металл матрицасы деформацияланбайды; болаттан жасалған бұйымның беттік қабаты көміртексізденбейді (қолданудағы цементациялау және шынықтыру операцияларындағыдай емес); жалпы металл бұйымның ЭПӨ кезінде формасы мен өлшемдері өзгермейді; онда ішкі және беттік термиялық сызаттар, жарықтар пайда болмайды;

- ЭПӨ тиімділігі және энергиялық үнемділігі жоғары, экологиялық тұрғыдан таза технология болып табылады;

- ЭПӨ арқылы даяр бұйымның ішкі және беткі қабаттары мен қуыстарын, сыртқы және ішкі күрделі профилін өңдеуге және беріктендіруге болады;

- ЭПӨ дейін бұйымның беткі қабатын арнайы дайындау қажет емес;

- ЭПӨ экологиялық тұрғыдан таза, қауіпсіз технология; арнайы тазалаушы жабдықтар қолдану,қалдықтарды заласыздандыру шаралары қажет емес;

- ЭПӨ еңбек және энергия қуатын үнемдеуге мүмкіндік береді;

- ЭПӨ өнімнің өзіндік құнын елеулі дәрежеде төмендетуге, оның сапасын арттыруға, өндіріс және құрастыру жұмыстарын оңай автоматтандыруға мүмкіндік береді.

Қорғауға шығарылатын негізгі зерттеу нәтижелері:

1) ЭПӨ кезінде металл бұйымдардың беткі қабатының фазалық құрамы мен құрылысының және қасиеттерінің өзгеру механизмі. Жоғары температуралық плазманың құрамында пайда болатын легірлеуші элементтер

иондары, көміртегі, оттегі, азот және басқа қоспалардың иондары металл бұйымдардың беткі қабатына еніп, аса үлкен жылдамдықпен суытқанда интерметаллиттік фазалардың, карбидтердің, оксидтердің, нитриттердің және басқа фазалардың наноөлшемді түйіршіктерін құрады. ЭПО кезінде металдың беткі қабаттарында негізгі және легірлеуші элементтер атомдары тотығып, наноөлшемді оксидтер кристалдары құрылады.

2) Аз көміртекті болат бұйымның электролиттік-плазмалық өңделген беткі қабатының құрылысы мен қаттылығы ЭПО-дің режимдеріне байланысты болады. Бұрғы құрал-жабыдығын жасауға арналған болаттарды электролиттік-плазмалық өңдеу кезінде беткі қабаттың қызу температурасының (Т) қыздыру уақытына (t), ток кернеуінің шамасына (U) және өңделген қабаттың қалыңдығына (x) байланысты өзгеруінің математикалық моделі:
$$T=4,5 \cdot x \cdot t^2 + 4,8 \cdot U - 18 \cdot t^2 = (4,5 \cdot x - 1,8) \cdot t^2 + 4,8 \cdot U.$$

3) Металлдар мен қорытпаларды электролиттік-плазмалық өңдеуге арналған жаңа лабораториялық қондырғының құрылысы мен жұмысы. Азкөміртекті легіріленген болаттар мен алюминий қорытпаларын термоциклдық электролиттік-плазмалық өңдеу әдісі.

Жұмыстың нәтижелерін іс жүзінде пайдалану. Диссертациялық жұмыс нәтижелері ҚазҰТЗУ-нің және “ALAKOL-PLANT” ЖШС-ның бірлескен №277 ғылыми комерциялық жоба аумағында өндіріске енгізілуде. Сонымен бірге, зерттеу нәтижелері «Өскемен өндірістік арматура» АҚ заводында өндіріске енгізуге ұсынылған, Қ.И.Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ және Д.Серікбаев атындағы ШҚМТУ – нде оқу үрдісінде қолданылады.

Докторанттың жеке үлесі. Лабораториялық ЭПО қондырғысын жобалау және оны жасап, іске қосу. Ғылыми тәжірибелік жұмыстарды орындау, олардың нәтижелерін талдау және қорытындылау.

Ғылыми мақалалары. Диссертация тақырыбы бойынша 9 ғылыми еңбек жарық көрді, оның ішінде 5 ҚР БЖҒМ «Білім беру және ғылым саласындағы бақылау комитеті» ұсынған басылымдарда жарияланған және «Scopus» пен «Web of Science» тізім құрылымына кіретін журналдарда мақалалары жарық көрді.

Жұмыстың құрылысы және көлемі

Диссертациялық жұмыс кіріспеден, 5 бөлімнен, жалпы 3 қорытындыдан, 113 пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Диссертация көлемі 110 беттен, 31 кестеден, 54 суреттен, және 3 қосымшадан тұрады.

1. БОЛАТТАРДЫҢ БЕТКІ ҚАБАТЫНЫҢ БЕРІКТІГІН АРТТЫРУ ӘДІСТЕРІ

1.1 Тепе-теңдік және тепе-теңсіздік күйде суыту кезінде темір қорытпалары мен түстіметалл қорытпаларында жүретін фазалық өзгерістер

Аз көміртекті легірленген болаттарда жүретін құрылымдық - фазалық өзгерістер температуралары легірлеуші элементтердің әсеріне байланысты өзгереді. Ni, Cr сияқты элементтер 20X болатында Ас₁-фазалық өзгерісінің температурасын (20X Ас₁= 750⁰С, МЕСТ 4543-71) [1]. Көміртегінің аз жағына (сол жаққа) қарай жылжытады. Никель Ас₃ фазалық өзгеріс нүктесін төмендетеді, нәтижесінде Ас₃ нүктесін жоғарылатады [2, 3], төменгі бөліктегі өте үлкен концентрациялық аралықта α – фаза тұрақты болады. Фазалық өзгеріс температурасының сақталуы қарама- қарсы факторлардың бірге әсер етуімен шартталған.

Кесте-1. Критикалық нүктелердің температурасы, °С

Ас ₁	Ас ₃	Аг ₃	Мн	Мк
750	825	755	390	336

Фазалық өзгерістердің критикалық нүктелері қыздырғанда Ас, суытқанда Аг деп белгіленеді. Егер Ас₃ температурасынан жоғары қыздыру нәтижесінде алынған эвтектоидқа дейінгі болатты (20X Ас₃=860⁰С) Аг₃ температурасынан төмен тез суытса, аустенит метатұрақты күйде қалады. ГЦК торы бар белгілі уақыт ішінде тұрақты температурада, тез суытылған аустенит мартенситтік өзгеріске ұшырайды. Нәтижесінде жаңа фаза - көлемдік центрленген тетрагональды торы бар мартенсит пайда болады.

Мартенсит дегеніміз көміртегі атомдарының α-теміріндегі шектен тыс қаныққан қатты ерітіндісі. Мартенситтік өзгеріс, перлиттік және аралық өзгерістер сияқты емес, диффузиясыз механизмның көмегімен жүреді. Яғни аустенит торындағы көміртегі және темір атомдары диффузиялық жолмен таралмайды. Мартенситті өзгеріс нәтижесінде болаттың қаттылығы мен беріктігі кенеттен жоғарылайды. Легірленген болаттарда және термиялық немесе химия-термиялық өңдеуде легірленген аустениттен тез суыту нәтижесінде (шынықтыруда) легірленген мартенсит пайда болады [4]. Мартенситтік өзгеріс Мн деп белгіленетін (20X Мн=390⁰С), мартенситтік өзгерістің басталу температурасы деп аталатын белгілі бір температурада басталады. Суытқанда аустенит Мн нүктесінен төмен температурада мартенситке айналады. Мартенситтік өзгеріс ары қарай жүруі үшін болатты Мн нүктесінен төмен үздіксіз суытып отыру керек. Егер суытуды тоқтатсақ, онда мартенситті айналу да тоқтайды. Кез келген болатта белгілі бір температураға жеткен соң ары қарайғы аустениттің мартенситке айналуы тоқтайды. Бұл температура мартенситті айналудың соңғы температурасы деп аталады және М_к деп белгіленеді. М_к және М_н нүктелері суыту жылдамдығына тәуелді емес және аустениттің химиялық құрамы мен анықталады. Аустенитте неғұрлым

көміртегі көп болса, соғұрлым бұл нүктелердің температурасы төмен болады. Кобальт және алюминийден басқа легірлеуші элементтердің барлығы Mn және Мк нүктелерін төмендетеді. Мартенситтің кристаллдары белгілі бір өлшемге дейін ғана тез өседі де, содан соң өсуі тоқтайды. Ары қарайғы айналулар мартенситтің барлық жаңа кристаллдарының пайда болуы нәтижесінде жүреді. Азкөміртектелген және орташа көміртектелген болаттардағы мартенситтің құрылымы рейка тәріздес болады. Бір бағытқа бейімделген мартенсит-рейкалы мартенсит. Бұл рейкалардан көбінесе- массивті мартенсит пайда болады. Мартенситтің сипаттамалы ерекшелігі бұл оның жоғары қаттылығы [5, 6]. Азкөміртектелген мартенситтің бұзылуға уақытша кедергісі=1000, ал 0,6...0,8%С болғанда 2600...2700 МПа ға тең. Құрамында 0,4%С дан көп болатын шынықтырылған болаттарда созылуға сынауда морт бұзылады. Мартенситтің жоғары қаттылығы мартенсит құрылуындағы әртүрлі ақаулардың пайда болуымен байланысты жоғары ішкі кернеулердің пайда болуымен түсіндіріледі. Мартенситтің құрылысы химиялық біртектілігімен жұқа микро және субмикроскопиялық кристалл құрамының болуымен, дислокация тығыздығының өте жоғары болуымен және кристал торының қатты деформациялануымен сипатталады [7].

Мартенсит пайда болғандағы меншікті көлемнің жоғарылауы бұйымдарды шынықтырғанда олардың деформациялануына тіпті жарықшалар, ішкі жоғары кернеулер пайда болуына себеп болады. Аралық өзгерістер нәтижесінде цементит (карбидтер) пен феррит бөлшектерінен тұратын құрылым пайда болады. Бұл құрылым бейнит деп аталады.

1.2 20Х Болатының беттік қаттылығының артуының физика-химиялық негіздері

20х болат цементтелген және жақсартылған күйінде үйкеліске төзімділігі, қаттылығы, тұтқырлығы жоғары жауапты бұйымдарды, сонымен қатар динамикалық жүктемелер мен жоғары дірілге төтеп беретін бөлшектерді жасау үшін қолданылады. Бұл болат 70 тен +450⁰С[1,220-бет], температураларда қолданылуы мүмкін. Көміртегі, хром, молибден, марганец, кремний сияқты легірлеуші элементтер беріктігін жоғарылатады (Кесте-2). Никель жақсы соққыға тұтқырлық пен беріктікті қамтамасыз етсе, молибден болаттың жылуға тұрақтылығын және беріктігін қамтамасыз етеді[8].

Кесте-2. Химиялық құрамы, % (МЕСТ 4543-71)

Болат	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Cu	N
						Көп емес			
20Х	0,17-0,23	0,5-0,8	0,17-0,37	0,7-1	0,3 дейін	0,035 дейін	0,035	0,3	0,015

Кесте-3. 20Х Болаттың (ГОСТ 4543-71) механикалық қасиеттері

Деректемелер	Қойылу күйі, термиялық өңдеу режмдері	Қию, мм	КП	$\sigma_{0,2}$	σ_B	σ_5	ψ	КСУ, Дж/см ²	НВ (HRCэ) Көп емес
				МПа		%			
				Көпемес					
МЕ СТ 4543 -71	Шыбық.Шынықтыру950°C, ауада.Шынықтыру860°C,ауада.Босандату: 200°C,ауанемесе майда550°C	15	-	835	1130	12	50	98	-
		15	-	785	1030	12	50	118	-
МЕ СТ 873и 1-87	Шыңдалу.	300-500	685	685	835	11	33	39	262-311
	Шынықтыру.	100-300	735	735	880	12	35	49	277-321
	Босандату	100 дейін	785	785	930	12	40	59	293-331
	Қыздырыпөңдеу890-910°C, пешпенсуыту	300	-	390	620	10	25	-	265
	Нормалдау 920-980°C, ауада.Босандату630-680°C, ауада	-	-	590	780	-	60	-	197-269
Цементация 920-980°C. Нормалдау 900-950°C, ауада.Шынықтыру 900-950°C, май. Босандату (екіесе) 630-650°C.	80	-	1270	1370	12	-	88	Өзектер 321-400, Беткіқабаттарыс в.	

Соғу температурасы°C, басталуы 1200°C, соңы 800°C. Суыту баяу түрде 150°C ге дейін кезектелген 4-6 сағаттан кем емес жоғары босандатумен бірге жүргізіледі.

Дәнекерленуі- қиын дәнекерленеді. Дәнекерлеу әдістері: РДС,АДС флюспен, ЭШС Кезекті термоөңдеумен бірге қыздыру өте қажетті. Кесумен өңделуі- $\sigma_B = 880$ МПа және НВ 277-321 [2]

$$K_{\sigma, \text{CT}} = 0,63, K_{\text{УТВ. СПЛ}} = 0,72.$$

Морттық босандатуға бейімділігі-бейімді емес. Болаттың шынықтырылуы (Кесте-4) көрсетілген.

Кесте-4.Шынықтыру жолағы үшін қаттылығы, HRCэ

Бүйір жағынан ара қашықтығы, мм								
1,5	9	11	15	20	25	30	40	50
40,5-48,5	40,5-48,5	39,5-47,5	39,5-47,5	38,5-46,5	37,5-46,5	36,5-45,5	35-45,5	32-44,5

20XБолаттың химия- термиялық өңдеу

Химия-термиялық өңдеу(ХТӨ) кезінде жүретін мынадай негізгі процестерді бөліп айтуға болады:

- Активті атомдардың пайда болуы және олардың металл бетіне қонуы(адсорбциясы);
- Олардың металлмен химиялық өзара әсерлесуі;(хемосорбция)
- Металды қанықтыратын элемент атомдарының металдың ішіне қарай диффузиясы;
- ХТӨ процессінің жылдамдығы кез-келген көпсатылы химиялық реакциялардағы сияқты баяу сатыда жүретін процестің жылдамдығымен анықталады [9].

1.3 Қатты карбюризатордағы цементация

Қатты цементация бәрінен бұрын ұсақ сериялы ремонтты жұмыстарда және біртекті өндірісте шет елдік фирмалар және отандық заводтарда тұрақты қолдану аймағын тапты. Кемшіліктеріне қарамастан цементация артықшылықтары бар(кесте-5). ХТӨ- дің бұл түріне мұнай химия өнімдерінің және газ бағаларының жоғарылауына байланысты көп назар аударылуы керек [10].

Арнайы ұнтақ қоспалар–карбюризаторлардың міндетті түрде жеткілікті активті қанықтыруға; көп қолданыстан кейінгі активтілікті сақтауға ие; тозаң пайда болуынан және бөлшектердің ұсақталуының минимум дәрежесіне жететін немесе жоятын беріктікке; байқалмайтын отыру сияқты қасиеттерге ие болуы керек.

Кесте-5.Қатты карбюризатордағы цементацияның артықшылықтары мен кемшіліктері

Артықшылықтары	Кемшіліктері
Әмбебаптылығы	Жоғары еңбек сыйымдылығы
Қарапайымдылығы	Жоғары энергия сыйымдылығы
Жұмысшылардың төмен біліктілігі	(карбюризатор мен жәшіктерді қыздыру қажеттілігі)
	Өңделудіңұзақтылығы
Жоғары өлшемді бөлшектердің терең тесіктерін өңдеу мүмкіндігі	Қабат қалыңдығының және көміртегінің концентрациясының басқарудың қиындылығы
Бөлшектерді селективті беріктендіру қажеттілігінің қарапайымдылығы	Цементацияланған жәшіктердің сатысыз шынықтырылуының мүмкін еместігі және шынықтыру үшін қайта қыздырудың қажеттілігі
Бөлшектің жоғары қаттылыққа ие болмауы керек болатын жақсы өңделетін аймақтарын жасау	Жәшіктер үшін отқа төзімді материалдардың үлкен шығыны
-	Еңбектің нашар санитарлы- гигиеналық жағдайда болуы

Барлық карбюраторлар құрамын әртүрлі түрдегі көмір құрайды: ағашты, тасты.

Көбірек ұсынылатыны құрамында 0,04 % (мас) көп емес күкірт, басқа да ұшатын заттар 8% көп емес зиянды қоспалары азырақ ағашты көмір. Ең дұрысы аз қонуға ие, аз тозаң болатын, аз үйкеліске ие, жеткілікті беріктікке ие ағаштың қатты түрлері: қайың, емен, бүктерден жасалған ағашты көмір қолдану керек. Бұлардың барлығы цементацияланған жәшіктердегі газдардың қозғалуына қолайлы жағдай туындатады.

Тасты көмірлердің құрамында оларды көміртектендіруге алып келетін ұшқыш өнімдер мен күкірт бар. Коксты қолданбауға тырысу керек себебі оның құрамында бөлшектің беткі қабатына еніп оны жейтін жағымсыз әсер беретін күкірт болады; сонымен қатар мыс жабындысының қорғаушы қасиетін төмендетеді. Бірақ та аз мөлшердегі кокс пайдалы, ол карбюратордың беріктігін арттырып, оның қонуын азайтады. Бұның бәрі жартылай карбюраторлы коксты жарамсыз ететін жартылай коксқа жатады, оны жауапты бөлшектерді көміртектеу үшін қолдануға болмайды [11].

Көміртектеу нәтижелеріне көмірдің өлшемдері маңызды әсер етеді, ол 5-12 мм шектеуінде болуы керек. Майдалау бөліктері жәшіктердегі қоспалардың тығыздығына әсер етеді, сонымен қатар қонбаның қанығу температурасының қыздырылуын баяулатады. Ал ірілеу бөліктері карбюратордың қанығу қабілеттілігін төмендететін, бетінің жалпы активтілігін төмендетуге алып келеді. Көмірді көміртектендіру процессінің интенсификациясы үшін катализатор ретінде BaCO_3 , Na_2CO_3 , K_2CO_3 көмірқышқылды тұздарын қосады.

Карбюратор құрамына көміртектендіру жағдайын төмендететін, көмір бөлшектерінің бетінің активтілігін төмендететін және жәшіктегі пайда болған газдың (CO_2 , CO) қозғалысын төмендететін көмірқышқыл кальцийін қосады.

Кейбір карбюраторлардың құрамдары (кесте-6) келтірілген: № 1- МЕСТ 2407-83 бойынша ағаш көмірлі карбюратор, №2 – МЕСТ 5535-76 бойынша жартылай коксты карбюратор болады. Өңделетін бөлшектердің беткі қабатына түсетін активті көміртектің пайда болу механизмі келесі түрде жүреді. Басында көмірдің қыздыру процессі жәшіктегі ауа оттегімен әсерлесіп, мына реакция бойынша көміртегі диоксидын құрады: $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$

Ары қарай одан жоғары температураларда $\text{C} + \text{CO}_2 \rightarrow 2\text{CO}$ реакциясының болуы нәтижесінде бөлшектердің бетіне көміртегі таситын көміртегі монооксиді пайда болады.

Бөлшектің беткі қабаттары өзара әсерлесуінде өңделетін бөлшектердің беткі қабаттарын диффундирлейтін $2\text{CO} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{C}_{\text{ат}}$ реакциясы кезіндегі атомдық көміртегінің пайда болуымен көміртегі оксидтері ыдырайды [12].

Бірақ болатты көміртегімен қанықтыру ағашты көмірінде жай өтеді. Процессті жылдамдату үшін ағашты көмірге барий, калий, натрий көмірқышқылды тұздарын қосады.

Кесте-6. Карбюраторлардың құрамдары

Құрамның нөмірі	Құраушылардың атаулары	Құрамы, % (мас)
1	Көмірқышқылды барий	20±2
	Көмірқышқылды кальций	<2,0
	Ұшқыш	<8,0
	Су	<4,0
	Күкірт	<0,04
	Ағаштыкөмір	Қалғаны
2	Көмірқышқылды барий	10-14
	Көмірқышқылды кальций	<2,7
	Су	<6,0
	Күкірт	<0,30
	Жартылай кокс	Қалғаны

Көмірқышқылды тұздарды қосқандағы көміртектендіру процессінің қарқындылығы келесі реакциялар арқылы жәшіктердегі көміртегі оксидінің санының көбеюімен түсіндіріледі:



Сонымен қатар бастапқыда BaCO_3 әрекетінен Na_2CO_3 және K_2CO_3 әрекеті қуаттырақ болатындығына назар аудару керек. Алайда содан кейін уақыт өте келе Na_2O және K_2O пайда болатын Na және K металлдық қалыпқа түсетіндіктен олардың әсері әлсірей түседі. Бұл карбюратордың белсенділігінің төмендеуіне алып келеді; Na_2CO_3 немесе K_2CO_3 мөлшерлерінің азаю процесі осы реакциялар ар қасында ұзақ ұстауда және жоғары температуралы қанықтырылуда белсендіріледі. Барий бұл шарттарда металлдық күйге дейін қалыпқа келмейтін және үнемі көмір тегі оксидін пайда болдыртатын реакцияларда қатыспайтын болғандықтан BaCO_3 ті қолдану пайдалырақ. Барлық карбюраторлар құрамында көміртектендіру процесінің орташа күйде жүруі үшін тұздардың көлемі қажеттіден көбірек.

Осылай, BaCO_3 көлемі 4-6% тен аспау керек, бұл көлемнен жоғары болатын болса, қабаттың қалыңдығы жоғарыламай бөлшектің беткі қабаттарында көміртегімен қанықтыру жүре бастайды. Осыған байланысты көміртектендіруді 20-30% тен тұратын таза және 70-75 % атқарылып қойған карбюраторлармен жүргізу ұсынылады; бұл жағдайда карбюратордың құрамындағы тұздардың қажетті мөлшері (4-6%) қамтамасыз етіледі. Осылайша цементтелген жәшікте карбюратордың құрамы мен температурасынан тәуелді құрамында %: 22-36 CO , 15-47 H_2 , 0,3-29 CH_4 , 0,8-1,5 CO_2 , 0,1-0,9 O_2 қалғаны азот болатын газдық атмосфера пайда болады. Бұл

катты цементацияда бөлшектерді көміртегімен қанықтыру газдық фаза арқылы өтетінін көрсетеді.

Сонымен қатар, жәшіктегі газдық атмосферамен қанықтыратын құрамның байқалатын мұндай ауытқуы бөлшектердегі көміртегінің, диффузиондық қабат қалыңдығының, цементтелген бөлшектердің тұрақты қасиеттеріне жағымсыз әсер көрсететін беттік концентрациясының байқалатындай таралуға әкелетіндігін атап өту керек.

ХТӨ-дан алдын бөлшектер ластанудан, қақтан, майдан және қабыршықтан тазалануы керек. Өңделетін бөлшектердің әртүрлі көміртектелу аймақтарын қорғаудың негізгі әдістері(кесте-7) ал майлау құрамдары (кесте-8) көрсетілген. Бұл өңдеу нәтижелерін қамтамасыз ететін қажетті жағдайлардың бірі болып табылады.

Бөлшектерді көміртектендіру арнайы болат пен шойыннан жасалған жәшіктерде жүргізіледі. Нихром мен болаттан жасалған жәшіктер ұзақ қызмет көрсету нәтижелеріне ие болған. Ұсақ бөлшектерді дайындауда әдетте 400x350x250мм-ге жақын өлшемдегі жәшіктерді қолданады [13].

Кесте-7.Бөлшектерді көміртектелуден қорғау әдістері

Әдіс	Артықшы- Лықтары	Кемшіліктері
Азәдіп жіберу (қабатқалыңдығы 1,5-2мм).	Қарапайымж әнәсенімді	Өзіндік бағасының және еңбек сиымдылығының жоғары болуы; металлдың жоғары шығыны.
Гальваникалық мыстау (қабат қалыңдығы 20-60 мм).	Сенімді	Арнайы қондырғыландыру қажеттілігі, қосымша аумақ; Жұмысшылардың жоғары біліктілігі. Беткі қабаттары қиын алынады.
Пистолет көмегі арқылы алюминийлі жабу (қабат қалыңдығы 0,3-0,5 мм).Қорғаушы майлаулар.		
Мыс тығындары, топырақ (тесіктерді қорғау үшін).	Қарапайымж әнәқолжеткі зілімді	Құрғату мен қыздыру кезіндегі пайда болатын жарықтардың әсерінен ардайым сенімді емес

Домалақ пішіндегі ірі бөлшектердің өңделуі үшін цилиндрлік жәшіктер, ал сақина тәріздес мойынтіректі бөлшектер үшін көміртектендіру температурасына дейінгі болатын жәшіктердің қыздыру уақытын қысқартатын және карбюратор шығынын 3-10 есе азайтуға мүмкіндік беретін, тісті сақиналы- екі концентрациялық құбыр сияқты жәшіктер қолдану мақсатқа сәйкес келеді[10,677].

Кесте-8.Бөлшектің беткі қабаттары цементацияланудан сақтайтын майлаулардың құрамдары

Құрамның номері	Құраушылардыңата улары	Құрамы, % (масса)	Ескерту
1	Тальк	50	Қоспағақаймақтәріздессұйықкүйг ежеткеншесұйықшынықосады
	Ақтопырақ	25	
	Су	25	
2	Құм	41	Барлыққұраушылардыараластыры п, сұйықшыныдаезбелейді
	Топырақ	43	

	Бура	10	
	Натрийліселитра	3	
	Қорғасыноксиді	3	

Жәшіктерді жүктеу келесі түрде жүреді. Жәшік түбіне 35-50 мм қалыңдықтағы карбюратор қабатын сеуіп, толтырады. Бұл қабаттың бетіне бөлшектерді бірінші қатарын бір-бірінен 20-30мм ара қашықтықта жайғастырады. Содан соң карбюратордың екінші қабатын 30-40 мм де орналастырады осылайша бүкіл жәшікті толтырады. Үстінен 35-50 мм қалыңдықтағы карбюратор қабатын сеуіп және толтырады. Қиын формадағы бөлшектердің орналасуын тиімдірек ете отырып, жәшіктегі бөлшектер көлемін 24-30% ке арттыруға болатындығын практика нәтижесі дәлелдеді. Бұл жағдайда бірінші қабаттың қалыңдығы 20-30 мм болу керек, бөлшектер арасындағы ара қашықтық 10-15 мм, дәл сондай ара қашықтық бөлшектер мен жәшік бүйір қабырғасы арасында болады. Карбюратор қабаттары мен бөлшек қабаттарының қалыңдығы 10-15 мм болу керек. Карбюратордың соңғы қабаты әдетте 35-40 мм қалыңдығына ие, оған ауыр шойыннан немесе болаттан жасалған тақта қояды. Содан соң жәшікті тығыз қақпақпен жауып және лаймен жағады(қақпақтың шеткі жақтарын және тігіс жерлерін). Лай құрғағаннан кейін жәшікті пешке орналастырады.

Көміртектендіру процесі негізгі 3 сатыдан тұрады: қыздыру, қанықтыру үшін изотермиялық ұстау, цех температурасына дейін суыту.

Қыздыру уақыты бәрінен бұрын диффузиондық қанықтыру температурасынан,массадан, жәшіктердің өлшемі мен формасынан, пештің түрі мен қуаттылығына тәуелді. Пешті кеңістікке жіберу жарылысқа алып келетін ал ары қарайғы суытуда-өңделетін бөлшектердің сапасын төмендететін пештік газдардың жәшік ішіндегі ауаны сорып алатындықтан қыздыруды жәшіктерде қатты пайда болатын газдардың пайда болмайтындай жылдамдықта жүргізеу керектігін есте сақтау керек.

Көміртектендіру процессіндегі қыздыру сатысының үлесі беріктендірілетін қабаттың қалыңдығына тәуелді: 0,4-0,6 мм де ол 70-80% ды құрайды,ал 1,0-1,2мм де-50-60%. Көміртектендіру температурасында 900-920°C қыздыру уақыты минималды өлшемдегі жәшіктің 1 см ге 7-8 мин есебінен алынуы мүмкін[13].

Көміртектендіру процессін әдетте 900-930°C температурада жүргізледі. Қанықтырудың ұзақтылығы басқа да жағдайларда қабаттың қажетті қалыңдығымен анықталады. Қанықтырудың жылдамдығы процесстің жалғасу ұзақтылығымен температурасынан тәуелді. Процесс басында 900°C та оның мәні шамамен 0,4 мм/сағ тең, ал 10 сағаттан кейін 0,08 мм/сағатқа кемиді.

Қиын пішіндегі бөлшектерді өңдеуде олардың жәшіктерге жоғары деформациялық жүктелуін жою үшін оларды 600-700°C қа дейін қыздырылған пештерде өндіреді [14].Температура 780-800°C жеткенде,пештегі жәшіктерге тесіп өтетін қыздыру жүргізеді, содан соң пеште бөлшектерді көміртекпен диффузиондық қанықтыруға қажетті температураны тұрақтандырады.

Кесте-9. 910-930°С температура кезіндегі талап етілген қабат пен жәшік өлшеміне байланысты цементацияның жалпы жалғасымдылығы

Жәшіктің минималды өлшемі, мм	қабаттереңдігі кезіндегі, мм процестердің жалғасымдылығы, сағат			
	0,5-0,7	0,7-0,9	0,9-1,2	1,2-1,5
100	4-5	5-6	6-7,5	7,5-9
150	4,5-5,5	5,5-6,5	6,5-8,5	9-11
200	5,5-6,5	6,5-7,5	7,5-9,5	10-12
250	6,5-7,5	7,5-8,5	8,5-10,5	11-14

Өрт жағдайын тудыратындықтан және жұмысшылардың күйік алуы мүмкін болғандықтан, сонымен қатар карбюратордың шығындалуына (ол ашық ауада жанады) алып келетіндіктен ыстық жәшіктерді ашуға болмайды. Цементтелген бөлшектердің соңғы, нақты қасиеттері (қаттылық, беріктік, тозуға төзімділік және т.б.) термиялық өңдеуден кейін алынады [10,120-бет].

Цементтелген бөлшектердің ақаулары және олардың алдын алу және түзету әдістері (кесте-10) көрсетілген.

Кесте-10. Бөлшек ақаулары, олардың алдын алу және түзету

Бөлшек ақаулары	Себептер	Алдын-алу шаралары
Беткі қабаттың желінуі қабыршық және т.б.	Күкіртқышқылды тұздар Ва және Na болуы	Карбюратор құрамының бақылауы
Күйе, дақтар	Бөлшектің өңдеу алдындағы былғануы	Бөлшектердің өңдеу алдындағы тазартылуы
Әйнек тәрізді қаспалар (тамшылар, жасшалар).	карбюратордың құммен бітелуі	карбюратордың иленуі, майланған қабаттың зақымдауынсыз орау
Қалыңдықтың біртектілігі	Біртектісіз қыздыру. Ұсақ карбюратор. Тұздардың Карбюраторда біртектісіз орналасуы	Кіші өлшемдегі жәшіктердің қолданылуы, карбюратор түйірінің өлшем бақылауы және орналасу біртектілігі.
Көміртектің төменгі құрамы	Карбюратордың жеткіліксіз белсенділігі. ВаСО ₃ және N ₂ СО ₃ біртектісіз орналасуы	Пеште температураның біртектілігін қамтамасыз етілуі, карбюратор құрамын бақылау

Жәшіктерді суыту әдетте тынық ауада жүргізеді; кейде уақытты азайту мақсатында және цементті тордың пайда болуын жою үшін жәшіктерді біркелкі тығыздалған ауамен үрлейді.

Қатты карбюраторда көміртектендірудің артықшылығы кезекті термиялық өңдеу болып табылады. Жоғары температурада ұзақ уақыт ұстап, бөлшектерді көміртектендіру процесі кезінде аустенит түйіршігінің өсуі жүреді және түйіршік шекарасының бойымен цемент бөлінеді (жәшіктерді суыту бөлімінде). Термиялық өңдеу осы ақауларды түзейтіндей болуы керек. Сондықтан түйіршікті ұсақтау үшін босандату, қалыпқа келтіру, шынықтыру тәрізді операцияларды қарастыру керек; бұл операциялардың

температурасы 900°C шамасында болуы қажет, сонда фазалық және құрылымдық өзгерістер беткі қабатта да, ортаңғы бөлікте де орындалады.

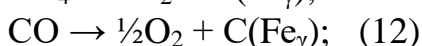
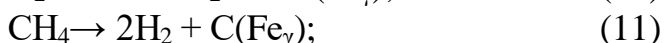
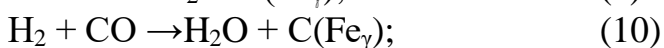
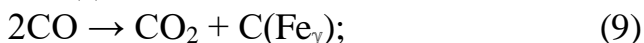
Талап етілген қаттылықты, тозуға төзімділікті және т.б. Өлшемдерді қамтамасыз ету үшін бөлшектерді 740-760°C температурада шынықтыру мен 160-200°C температурадан төмен температуралы жұмсарту қажет [15].

Көміртектендіру нәтижесінің бақылауы дәл бөлшек жасалынған болаттан дайындалған үлгілермен жүзеге асады. Үлгілердің өлшемдері: диаметр 10-15 мм, ұзындығы 100-120 мм.

Бір үлгіні атомдармен бірге жәшік ортасында орайды. Кейін онда қажетті қанықтыру температурасы алынады. Бұл үлгіде өңдеудің сапа бақылауын не жәшіктерді ашқаннан кейін немесе соңғы термиялық өңдеуден кейін жүргізеді. Екінші үлгі – сыртқы қақпақтың арнайы тесігіне орнатылады және бақылау үшін көміртектендіру деңгейінің аяқталуынан 1 сағат бұрын шығарады.

1.4 Газды ортада цементациялау және нитроцементация

Өндірісте қанықтырушы газ атмосферасын дайындау үшін сұйық және газды карбюраторлар қолданылады; нитроцементация кезінде оларға аммиак қосады [15]. Газ атмосферасы болаттан жасалған бөлшектерді көміртектендіру кезінде CO, H₂, CO₂, CH₄, H₂O, K₂ құрамында көп компонентті күрделі қоспа болып табылады. Нитроцементтеу кезінде атмосфера құрамына, сондай-ақ NH₃ қосылады. Көміртегі көзі ретінде CO және CH₄ қолданылады, ал азот ретінде - NH₃. Көміртегінің атмосферадан болатқа өтуі келесі реакция нәтижесінде жүзеге асады:



Газ атмосферасынан көміртегінің жалпы ағымына (10) реакция ең көп үлес қосады (97.7%).

Атмосфераны қанықтыру белсенділігі көміртегі потенциалымен бағаланады. Көміртегі потенциалы үлгідегі өтпелі көміртегі концентрациясына тең. Үлгі ретінде техникалық никельден жасалған фольга қолданылады. Көміртегі потенциалы бөлшек дайындалған болаттың химиялық құрамы, температурасы және атмосфера құрамының күрделі функциясы болып табылады.

Бұл тәуелділікті есептеу үшін пеш атмосферасында жүретін реакциялар қолданылады (13) реакцияға сәйкес көміртегі потенциалы (φ_c) келесі теңдеумен анықталады:

$$1g(\varphi_c) = 0,7874 [1g(\% \text{CO}) + 1g(\% \text{H}_2) - 1g(\% \text{H}_2\text{O}) + 4930/(273+t) + 1gp - 7,559], \quad (13)$$

мұндағы,

p - қалыпты атмосфера қысымының фактілік қысымға қатысты болып табылатын қатыстық қысым,

%; n - легірлеу коэффициенті;

t - қанығу температурасы, °C.

Бірдей көміртек потенциалына ие пеш атмосфералары көміртегін беру қабілетімен ерекшеленуі мүмкін. Бірлік уақытта беткі қабат бірлігі арқылы болаттан алынған көміртегі саны m пеш атмосферасы мен болаттың сыртқы беткі қабаты арасындағы активтілік өзгерісіне пропорционал: $m = \beta (a_3 - a_c)$,

мұндағы:

β - масса беру коэффициенті;

a_3 - көміртегінің атмосферадағы белсенділігі;

a_c - көміртегінің болаттағы белсенділігі.

Көміртегінің өту жылдамдығы CO және H_2 мөлшеріне байланысты осы компоненттердің парциалды қысымдарының өндірілуіне тура пропорционал $p_{\text{CO}} \cdot p_{\text{H}_2}$. В-шамасы $\text{CO-H}_2\text{-N}_2$ атмосферасымен салыстырғанда 20 есе артық.

1.5 Болатты беттік шынықтыру әдістері

Беттік шынықтыру кезінде берілген қалыңдықта тек беткі қабат қана шынықтырылады, ал бұйымның ортасы шынықтырылмайды. Беттік шынықтыру негізінен өңделген бұйымның қаттылығын, тозуға төзімділік және төзімділік шегін арттыру мақсатына қолданылады. Бұйымның ортасы тұтқыр күйде қалады соққы кедергісін қабылдайды. Тәжірибеде көбіне төмен көміртектендірілген болаттар үшін цементтеу және одан кейінгі шынықтыру, беткі қабатты азоттау, борлау және т.б. қолданылады. Сонымен қатар орташа көміртектенген конструкциялық болаттар жоғары жиілікті токпен индукциялық қыздыру арқылы беттік шынықтыруға жіберіледі. Бұл әдіспен электр тасымалдағыштың және жылу тасымалдағышының тісті дөңгелектерін, иінді білік мойынын, рессорлы асқыштардың валиктері сияқты және т.б. бөлшектерді шынықтырады. Индукциялық қыздыру айналмалы магниттік өрісте орналасқан бұйымға индукцияланған токтың жылулық әрекеті әсерімен жүзеге асады. Қыздыру үшін бұйымды сумен суытылатын мыс құбыр немесе шинаның бір немесе бірнеше қуыс айналымдарын құрайтын индукторға (селеноид) орнатады. Беттік шынықтыруда қыздыру көзі ретінде, сондай-ақ газ жанарғысы және лазер қолданады. Газ жалынды қыздырумен шынықтыруды тек ірі бұйымдарға жүргізіледі, мысалы, металлургиялық қондырғылар бөлшектері үшін. Үздіксіз сәулелену лазерінің қолданылуы жоғарғы өнімділікті, беріктендіру теңдігін қамтамасыз етеді және кез келген беткі қабаттың профилін 100,10000 мм/мин жылдамдықпен өңдеуге мүмкіндік береді. Беріктенген қабат қалыңдығы 0,3...1,0мм құрайды. Лазерлі өңдеу беріктендірудің тиімді әдісі болып табылады, мысалы жылу тасымалдағыш машинасының сұр шойыннан жасалынған цилиндр гильзасы үшін. Алайда қондырғының қымбаттылығы мен эксплуатация процесінің күрделілігі лазерлі беріктендірудің қолданысын шектейді [16].

1.5.1 Электролиттік-плазмалық өңдеу әдісі

Көптеген машина бөлшектердің жұмыстары мен механизмдері үздіксіз үйкеліс жағдайында жүреді. Түйіндес беттердің өзара әсерлесуі ұстасу мен киліккіштер пайда болуына алып келеді, ал бұл соңғы нәтижеде жұмыс істеуші жүйенің қатардан шығуына себеп болады.

Қаттылық пен тозуға төзімділік арасында тура тәуелділіктің болуы беткі қабаттың қаттылығының артуымен тозуды азайтуға мүмкіндік берді, сондай-ақ беткі қабаттың физикалық-химиялық қасиеттері де үлкен маңызға ие. Машина бөлшектерінің түрлі химия-термиялық өңдеу әдістеріне қарамастан, анағұрлым энергия үнемдегіш, өнімділігі жоғары, экологиялық таза өңдеу әдісін табу маңызды тапсырма болып отыр.

Мұндай әдістердің бірі электролиттік-плазмалы өңдеу әдісі болып табылады. техниканы жылтырату плазмалық химиялық негізделген және электрохимиялық және майсыздандыру, қақты жоюға арналған және басқа да жетекші плазмалық өңдеу әдісін жиынтығы болып табылады, ол электролит - өңдеу кеңінен қолданылады плазма, кең ауқымды, күрделі пішінді өңдеу металл бөліктерінің барлық түрлері үшін жарамды, тиімді бөлігі бетінің жарықтығын жақсарту, металл бөлшектер бетінің тазалығын қысқартуға болады, бір бөлігі коррозияға төзімділігі айтарлықтай жетілдіруге жақсарайды Механикалық құрылымдық беріктігі артады[17]. ЭПӨ электроразряд құбылысымен үйлестіре отырып беткі қабатты беріктендірудің электрохимиялық процессі болып табылады [18]. Нәтижесінде, электр тогі өткен кезде беткі қабат электролит иондарымен модификацияланады. Өзінің көп функционалды технологиялық сипаттарға ие құрылымы бойынша дәстүрлі әдістермен алынған қаптамалардан көп артықшылыққа ие.

Сонымен электролизбен байланысты разряд құбылысы 100 жылдан артық уақыт бұрын ашылған Sluginov [12,6 67]. Кейін 1930 -жылы кеңірек зерттелді Junterschultze Betz [13,693]. Алайда алғаш рет тәжірибеде тек 1960-жылдары Menill мен Jruss кадмилі анодқа кадмий- niobate қондыру үшін ұшқынды разрядты қолданды. 1970-жылдары доғалы разряд жағдайында алюминий анодына оксидті қондыруды Марков және оның қызметтестері зерттеді [16,6207]. Кейінірек бұл технология дамып, «микродоғалы оксидтеу» атауына ие болды . Түрлі металдарға оксидтер қондыру үшін беттік разрядты қолдану мүмкіндігі 1980 жылы Ресейде Снежко және басқа авторлармен [23], Марков[24-26], Федоров [27], Гордиенко басқа авторлармен [28-30] және Германияда Kuzze авторластарымен [31-34] зерттелінді. АҚШ және Қытай ғалымдары да осы сала зерттеулеріне өз үлестерін қосты [35-36]. Процестің жан-жақты зерттелуі және түрлі түсініктердің пайда болуы әр түрлі терминологиялардың пайда болуына алып келді[19-20]. Бір әдіс үшін «микроплазмалы оксидтеу», «анодты ұшқынды электролиз», «плазма электролитті анодты өңдеу», «ұшқынды разряд кезіндегі анодты оксидтеу» тәрізді түрлі атаулар қолданылды [37].

Бұл жұмыстармен қатар авторлар сұйық электролиттегі беттік разряд кезіндегі жылу эффектісін зерттеді. Олар металдарды жылулық өңдеу үшін қолданылды. Бұл әдіс «қыздыру» деп аталды және плазмалы-электролитті жылыту кезіндегі термодиффузия эффекттері зерттелді. Мұнда да электродтың беткі қабатына электролит элементінің диффузия құбылысы белгіленді. 1980-жылы бұл эффектер беткі қабат пен көлемді материалдарды түрлі легірлеуші элементтермен қанықтыруға бағытталған бірқатар процестерді зерттеуге қолданылды. Осылайша, «плазмалы-электролитті қанықтыру» деп аталатын

әдісті өндірістік қолдану мүмкіндігі пайда болды. Алайда беттік өңдеудің кең көлемде қолданылуы тұрғысынан плазмалы-электролитті процестердің одан ары дамуы электролиз кезінде электролитте жүретін плазма құбылысының физикалық және химиялық негіздерін жақсырақ түсінуді талап етеді.

Бұйымның беткі қабатын қыздырудың электролиттік-плазмалық технологиясы 50жылдан бері белгілі [21]. Бұл технология бұйымның беткі қабатының қасиетін өзгерту мүмкіндігімен ерекшеленеді [25]. Электролиттік-плазмалы технологияда электр энергиясын бұйымға беру металл анодтан электролит және плазма қабаттары арқылы жүзеге асады. Плазма қабаты сұйық электрод пен бұйымның электрөткізгіш беткі қабаты арасындағы саңылауда электролит материалынан құралады [32-33]. Сұйық электрод ретінде су негізіндегі электролит қолданады. Электролит құрамы мен электрлік режимдерді сәйкес таңдау өңдеу технологиясының көптүрлілігін қамтамасыз етеді [29].

Машинажасауда сенімділік, шығарылған бұйымның дәлдігі бұйымның және сонымен қатар жеке технологиялық процестердің дайындалу сапасымен анықталады. Заманауи машиналарға тозуға төзімділік, коррозияға тұрақтылық, жылуға тұрақтылық бойынша қойылатын жоғары талаптар ЭПӨ әдісімен қамтамасыз етілуі мүмкін.

Металл материалдарды электролиттік-плазмалы өңдеу өндіріске белсенді түрде енгізіліп келе жатқан беттік беріктендірудің тиімді әдістерінің бірі болып табылады [38]. А.Д. Погребняк, Н.Тюрин, және т.б. жұмыстарында өңделетін нысандар ретінде дизель қозғалтқыштарының шойын гильзалары қолданылды. Өңдеуді гильзаның ішкі беткі қабатына жүргізген. Бұл кезде жылу қуатының тығыздығы $0,6 \cdot 10^4$ Вт/см² дейін өзгерген. 30°C қыздыру және қайта қосудың бес циклынан кейін электр потенциалын қайта қосты және үлгінің қыздырылған қабатының суытылуын электролит ағымымен жүзеге асырды. Өңдеудің бұл түрінің негізгі артықшылықтары: 85% жететін жоғарғы ПӘК, улы электролиттер мен қосылыстардың қолдануынсыз қарапайым құрылғыда жұмыс жасау мүмкіндігі болып табылады. Беріктенген қабаттардың тереңдігі – 3мм дейін, ал максималдық қаттылық Hv (7000 МПа дейін) беріктенген қабаттың 1-ден 2.5мм дейінгі тереңдігінде бақыланады [38,6178]. ЭПӨ технологиясымен алынған қабаттың көп функционалдығы бөлшектің беткі қабатында белгіленген қасиетті қамтамасыз етеді, сонымен қатар құрастыру бөлімінде де, өндіріс және эксплуатация кезінде де бөлшектің технологиялылығын арттырады.

Е.О.Патон атындағы Электросварка институтында НАНУ және АООТ «ПЕРВОМАЙСКДИЗЕЛЬМАШ»[39]. Дизель машинасының иінді білік мойнын беріктендірудің электролиттік-плазмалы технологиясын ойлап шығарды және дайындады. Иінді біліктердің өңделетін беткі қабаты ретінде иінді біліктердің анағұрлым салмақты сырғу мойынтірегі таңдалған. Мойынтіректер үйкелінетін беткі қабатта бөліп тұратын майлы қабат болмағанда қозғалтқышты қосу және ажырату кезінде білік мойны мен ішпек арасында байланыс болады. Бұл білік мойнының беткі қабатына үлкен антифрикциялық талаптар қояды.

ЭПӨ технологиясы бойынша білік мойнының негізгі жұмыс жасайтын беткі қабатында ұзындығы 25мм болатын қатты аймақтар құрайды. ЭПӨ кезінде беткі қабаттың қатты аймақтары негізгі металдың құрылымында беріктенген құрылымға ие болады. Беткі қабаттың беріктенген аймағының қаттылығы 55-60 HRC [39,650], беріктенген қабаттың қалыңдығы 5мм. Бұл технология беткі қабатты қыздыру қуаты 10^3-10^4 Вт/см² болғанда бұйымның беткі қабатын қыздыру және суыту жылдамдығын 20-500°С/сек диапазонында басқаруға мүмкіндік береді[40]. Электролиттік- плазмалық өңдеу кезінде қыздыру уақытының өзгеруі қалыңдықты өзгертеді, қабат 40 секунд қыздыру жүргізілгенде 10 мм тереңдікке дейін қыздырылады, ал 7 сек 1 мм дейін. Беріктенген қабаттың максималды қаттылығы дизель машинасында сырғу мойынтірегінің жұмыс істеу қабілеттігінің артуымен қатар, ЭПӨ технологиясы ресурс үнемдегіш болып табылады. Техника-экономикалық негіздемелер стандартты технологиялар бойынша 1500-2000кг салмаққа ие ірі габаритті иінді білік СНА 13.45.16/6 м типті камералы электр пешінде термиялық өңдеуден өтеді. Бұл кезде электр энергиясының шығыны 6075 квт/сағат құрайды. Электролиттік- плазмалық өңдеу энергияның өте аз шығынымен орындалады, 30 кв/сағат[40]. ЭПӨ кезіндегі беріктенген қабат қалыңдығы 5мм жетеді, ал бұл СНА 13.45.16/6 м типті камералы электр пешінде өңделген қабаттан анағұрлым жоғары. Иінді біліктің ЭПӨ уақыты 5 сағат болса, ал жоғарыда аталған пеште өңдеуге 24 сағат жұмсалады [41].

Ірі габаритті иінді біліктерді беріктендіруде электролиттік-плазмалық технологияны өндірістік қолдану нәтижелерінің талдауы технологияның энергиялық үнемді және экологиялық таза екендігін көрсетті, 70-80% электр энергиясы бұйымды тұтастай қыздырмастан, тек беткі қабат аймақтарын қыздыруға жұмсалады[40.658]. Білік мойнының беріктенген беткі қабатының пішіні қыздырғыштың шығу қақпағы конфигурациясымен анықталады, ал беріктенген қабаттың қалыңдығы өңдеу уақытымен анықталады[41.667]. Беткі қабаттың шынықтырылған аймақтары бұйымның беткі қабатында қысу кернеуін тудырады, сосын абразивті өңдеуден кейін иінді білік мойнының гидродинамикалық жаққыш майын қамтамасыз ететін арнайы бүдір түзеді. Беткі қабаттың өңделмеген аймағы кернеу релаксациясын қамтамасыз етеді. Электролиттік-плазмалық беріктендіру білік мойнының беріктенген қабатында беріктендіргіш өңдеуден кейін білікті қалпына келтіруге кететін шығын мөлшерін төмендететін минималды кернеуді қамтамасыз етеді[42].

Барабанцев Г.Е, Тюляпин А.Н, және т.б. дискті араларды шынықтыруға арналған қондырғыны патенттеді[43]. Бұл жаңалық термиялық өңдеу аймағына қатысты, нақтырақ айтқанда болаттан жасалған бұйымдарды электролитте шынықтыруға арналған қондырғыларға байланысты және суық кесу дискті ара тістерін шынықтыруға қолданылуы мүмкін. Диаметрі 500-900 мм, қалыңдығы 4-7 мм болатын, молибден және ванадиймен легіріленген хромды болаттан жасалған дискті ара тістерінің сапалы шынықтыруын қамтамасыз ету үшін анағұрлым қолайлысы кезекті төмен температуралы жұмсартумен электролиттік-плазмалық шынықтыру болып табылады. ЭПӨ кезінде тістердің орташа массалы температурасы шынықтыру температурасына дейін 850°С

жоғарылайды, ал тістердің беткі қабаты қыздырылған: оның температурасы 1100°C-тан жоғары[42.684]. Қыздырылған тістердің электролиттен өтуі кезінде булығазды қабат пайда болады, бұл – электролит диссоциациясының нәтижесі. Булығазды қабат электролиттің тістердің қыздырылған бетіне түсіп кетуіне жол бермейді, ал бұл тістердің суу жылдамдығының азаюына алып келеді және оларда термиялық жарықтардың пайда болуын шектейді. Бұл суық кескіштің дискті арасының эксплуатациялық бағасын жоғарылатады. U_0 кернеуінің өзгеруімен булығазды қабаттың қалыңдығын өзгертуге болады және сәйкесінше қыздырылған тістердің суу интенсивтілігін де өзгертуге болады.

Ұсынылған қондырғының қолданылуы құбырды суықтай кескіш дискті арасының өндіріс рентабельдігін 17-20% арттырады.

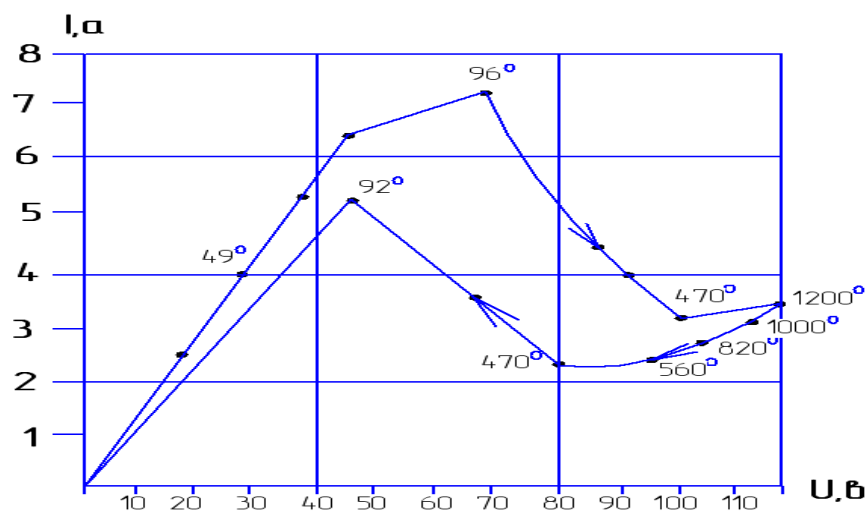
Электролиттік- плазмалық өңдеудің вольт-амперлік сипаттамасы

Металл қорытпаларын электролиттік-плазмалық өңдеу механизмін зерттеу мәселесі О.И. Хомутова, Г.В. Плеханова және т.б.Еңбектерінде жолға қойылған[44]. Бұл тапсырманы орындау үшін белсенді электрод арасында, электролитте, стационарлы қыздыру деңгейі кезінде электродта электрлік зарядтың вольт-амперлік сипаттамасына зерттеулер жүргізілген. Диаметрі 0,5, ұзындығы 5см болатын және өсі бойынша орналасқан тесік диаметрі 0.3 және тереңдігі 4,8см болатын коррозияға төзімді болаттан жасалған орталық электродқа электрод температурасын өлшеу үшін хромель- алюминийлі терможұп орнатылған. Терможұп дәнекерінің диаметрі – 0,15 см.

Электродтың электролитке батыру тереңдігі тәжірибелер барысында 0,2-0.6см диапазонында өзгеріп отырды [43.6208]. Диэлектрлік экранға орнатылған, диаметрі 0,02см құрайтын хромель копельден жасалған екінші терможұп, электролитте электрод бетінен 0,2см қашықтықта орын алған жалаң дәнекерге ие [43.6208].

Оның көмегімен электролит температурасы өлшенді. Терможұп көрсеткіштері КСП-4 потенциометрлерінің көмегімен тіркелді. Терможұп градус реттегіші термостатта ыстық дәнекерлерді қыздыру жолымен тексерілді:бірінші жағдайда көрсеткіш 1273 К дейін, екінші жағдайда 373 К [44.6306]. Потенциалдың электролитте орналасуы электролитке 0.2см тереңдікке батырылған диаметрі 0.06 см вольфрамнан жасалынған қозғалмалы электрлік зонд көмегімен өлшенді. Ол белсенді электродпен жанасқан кезден бастап сыртқы электродқа дейін микрометрлік винт көмегімен орын ауыстырды. Өлшеу схемасы зонд пен кез келген электродтар арасындағы потенциалдар айырымын тіркеуге мүмкіндік берді. Бұл ішкі кедергісі > 100 К/Ом болатын Р-386 санды вольтметрмен жүзеге асты. Зондтау нүктесіндегі электролит температурасын өлшеу үшін зонд жанында терможұп орнатылды. Барлық тәжірибелерде электродтардағы кернеулер мен олардың арасындағы токтың орташа күші 0,5 класына жататын тілшелі приборлар көмегімен тіркелді. Кернеу секірмелі түрде 5-10 В интервалында өсіп отырды. Әр кернеу шамасы үшін терможұптың стационарлы жетістіктер көрсеткіштері бақыланып, барлық өлшеулер жүргізілгеннен кейін тағы да кернеу өлшенді. Қыздырудың негізгі өлшеулері соданың сулы ерітіндісінде Na_2CO_3 (10% масса бойынша)

жүзеге асты. Содалы электролиттегі вольт-амперлік сипаттамалар бойынша бес аймақты бөліп қарастыруға болады (сурет-1).



1 - сурет. Белсенді катод кезіндегі электрлік ұшықтардың вольт-амперлік сипаттамалар

Ток шамасы берілген кернеуге пропорционал болып табылатын бірінші аймақ, 40-50В кернеуге дейін төмендейді.

Бұл аймақтағы электрод пен электролит температуралары электролиттің қайнау температурасынан төмен. Потенциалдың электрод аралық саңылау радиусы бойынша орналасуы радиальды геометрия үшін теорияға жақын.

$$U(r) = (I \rho_0 / 2\pi) \ln(r_2/r), \quad (14)$$

мұндағы

I – ток күші, А

ρ_0 – электролиттің меншікті кедергісі,

r_2 – ішкі электрод радиусы, мм

Бұл аймақта температуралық градиентер шамасы өте төмен және жылу сұйықтың еркін беткі қабатына табиғи конвекциямен беріледі [45]. Кернеуді 70-80В шамасына дейін жоғарылатады. Ток күшінің максималды 7-8 А мәніне дейін өте баяу өсуі бақыланады. Бұл сипаттаманың екінші аймағы, Оның бастапқы кезінде белсенді электрод температурасы (100 – 110⁰С) судың қайнау температурасына дейін жетеді. Бұл электрод аймағында электролиттің қайнауына, будың бөлінуіне және электрод айналасында көпіршікті қабаттың түзілуіне алып келеді. Осы аймақтың соңында ток күшінің 2-3А дейінгі өте жылдам төмендеуі жүреді. Үшінші аймақ жүйенің тұрақсыздығымен сипатталады және электролиттің өте қатты қайнауымен, сондай-ақ электродтың әр нүктесіндегі бөлек разрядтарымен байланысты. Қабықшаның өскен кедергілері жылулық энергияның бөлінуінің жоғарылауын тудырады. Кернеуді 100-130 В дейін жоғарылатқанда ток күші бірнеше есе төмендейді. Электролиттен белсенді электродты оқшаулайтын тұтас қабықшаның түзілуі бақыланады. Бұл процестің төртінші деңгейі, алайда белсенді электродтың қыздырылуы – процестің бесінші деңгейі – разрядтың стабилизация нүктесінде емес, кернеуді 10-50 В шамасына дейін жоғарылатқан кезде

басталады. Кернеуді 120В дейін жоғарылату катодтың да 1273К жоғары секірмелі қызуына алып келеді [46]. Бесінші деңгей басталғаннан кейін кернеуді төмендету – электрлік ұяшықтың вольт-амперлік сипаттамасында гистерезиске алып келеді. Сонымен қатар белсенді электрод температурасының баяу төмендеуі және электродтың температура шамасы (оның полярлығына тәуелді емес) $T = 750-780$ К болғанда содалы электролитте разряд тәртібінің үзілуі жүреді. Ток күші жоғарылап, оның үлкен тербелістері бақыланады, электрод температурасы $T=383-378$ К (электролиттің қайнау температурасы) шамасына дейін секірмелі түрде төмендейді. Ары қарайғы кернеудің төмендеуі кезінде тағы бірінші аймаққа – қалыпты электролиз аймағына келеміз, алайда электролиттің қызуы салдарынан оның кедергісі төмендейді, және сипаттаманың кері тік сызығында бұл аймақтың тура тік сызығымен сәйкес келмейді.

Na_2CO_3 электролиті жағдайында оның орындалуы электродтың тез қызуымен сәйкес келеді. Осы сәттен бастап разрядтың вольт-амперлік сипаттамасының бөлінуі бақыланады: кернеудің төмендеуі ток күшінің төмендеуімен бірге жүреді (сурет-1).

Вольт-амперлік сипаттаманың гистерезисі [47]. Белсенді анодқа жақын жерде разрядтың Na_2CO_3 сулы ерітіндісінде жануы кезінде анық байқалды. Электродтың қыздыруынсыз стационарлы разрядты анықтағаннан кейін ($T=375-390\text{K}$) кернеудің жоғарылауы токтың азаюына алып келеді. Электрод температурасы секірмелі түрде 1273К шамасына дейін жоғарылағанша осылай жалғасады. Кернеудің төмендеуі алғашында қыздырусыз тік сызықтағымен сәйкес келетін ток шамасын береді, ал кейін ток төмендейді.

Осылайша, электродтың қызу режимінде сипаттама өз сипатын өзгертіп, баяу өспелі болады. Төмендейтін вольт-амперлік сипаттама Na_2CO_3 сулы ерітіндісінде, анодқа жақын разряд үшін бақыланады. Авторлар осыған ұқсас анодқа жақын разрядтар үшін вольт-амперлік сипаттамаларды басқа электролиттер үшін де бақылады, бұл алдыңғы жұмыстарда қарастырылған [48].

Плазмалы-электролитті разрядтардың вольт-амперлік сипаттамаларын белгілі разряд типтерінің вольт-амперлік сипаттамаларымен салыстыру, мұндай жағдайда жаңа типтегі разряд орын алатындығын көрсетті. Оның минималды жану кернеуі 50-80 В құрайды, ал бұл ұшқынды разрядтар үшін де, өшетін разряд үшін (электродты төмендеу кезіндегі минималды кернеу және бірнеше жүздеген вольтты құрайды) де сәйкес келмейді [49]. Дене температурасы мен сұйықтықтың қайнау температурасы әр түрлі болған кезде < 6 К жылу алмасу табиғи конвекция арқылы жүреді; $> 6\text{K}$, бірақ 30-50 – көпіршікті қайнаудан төмен емес; 50-ден 200К дейін – жартылай пленкалы қайнаумен; жеткілікті пленкалы қайнау тек 210К жоғары температура шамасында ғана басталады, яғни дене температурасы 480К жоғары болғанда. Электродтан қоршаған ортаға конвекция жолымен жылу берілуді бағалау, бұл жолмен шығындалатын энергия 5-6%-тен аспайтындығын көрсетті. Электродтың сәулеленуімен максималды қыздыру кезінде 5% көп емес жылу ағымы кетуі мүмкін. Жылу балансына бұл факторлардың аз ғана әсері алынған тәуелділіктермен де расталады, яғни

температураның жоғарылауы баланс өзгерісіне әсер етпейді. Электролиз режимі кезінде электролиттің булануы мен $T=355-372$ К кезінде газ бөлінуге 27-35 % қуат жұмсалады. Разряд пайда болғанда бұл көрсеткіш $T=373-379$ К кезінде 40-60 % жоғарылайды және электродтың ары қарайғы қыздыруында ($T=710-860$ К) өзгеріссіз қалады [49.6103]. Көптеген энергетикалық процестердің зерттеулері электр тоқының, заттардың және жылу алмасу мәселелерін шешумен байланысты. Қатты денелерде бұл субстанциялардың алмасуы бір-бірімен байланыссыз қабылданған сызықтық тәуелділіктерге бағынады, мысалы жылу алмасу – Фурье заңына бағынады: шартты жылу ағымы температура градиентіне пропорционал; электр тогының алмасуы – Ом заңына: электр тогының ағымы электр тогын потенциалының градиентіне пропорционал; заттардың молекулалық алмасуы – Фик диффузиясы заңына бағынады: заттың шартты ағымы концентрацияға пропорционал.

Жылу мен электр тоқының алмасуы энергияның алмасуы болып табылады. Жылу тасымалдағышы кез келген затты жүйе болуы мүмкін: атомдар, молекулалар, молекулалық комплекстер, гидродинамикалық ағымдар мен фотондар. Электромагнитті сәулеленуді жылу тасымалдағыш ретінде қарастырғанда, жылулық энергияның тасымалдануы электромагнитті энергия көмегімен жүреді деп есептеледі, бұл процесс кезінде екі рет өзара алмасу жүреді, яғни алдымен жылулық электромагниттікке, кейін керісінше.

Металлдарда электр тогының тасымалдануы еркін электрондар арқылы жүзеге асады; ионды өткізгіштерде – иондармен; жартылай өткізгіштерде – электрондармен [50].

Заттардың тасымалдануы кезінде де түрлі тасымалдағыштар қатысады. Мысалы, газ тәрізді ортада су буының диффузиясы кезінде тасымалдау бөлек молекулалар немесе молекулалық комплекстер, немесе гидротермодинамикалық ағымдар көмегімен жүреді.

Жылудың тасымалдануы кезінде тасымалданушы субстанция болып энтропия табылады; электр тогының тасымалдануы кезінде – заряд; заттардың тасымалдануында – масса.

Тасымалдаудың кез келген түрі бірдей түсініктермен сипатталады: өріспен, ағыммен, кедергімен. Ағымның кейбір аймағындағы потенциалдардың толық айырымының оның салдарынан пайда болған толық ағымға қатынасы үйкеліс коэффициенті немесе ағым кедергісі деп аталады. Берілген аймақ бойынша ағымның тасымалдану құбылысының кең класы үшін аймақтың басында және соңында ұсынылған потенциалдар айырымына пропорционал; басқаша айтқанда, кедергі немесе үйкеліс коэффициенті бұл жағдайда ағым тығыздығы шамасына тәуелді емес. Жылу ағымына қатысты бұл ереже Фурье заңы ретінде танымал, электр тогы жағдайында – Ом заңы ретінде, ал ағым массасы үшін – Фик заңы ретінде көрсетіледі.

Нақты жағдайда жылу алмасу күрделі процесс болып табылады. Оның зерттелуінің жеңілдетілуі және қарапайымдылығы үшін жылу алмасудың элементарлы түрлерінің түсініктері енгізіледі – жылуөткізгіштік, конвекция және сәулелі жылу алмасу болып табылады.

Жылуөткізгіштік кезінде жылу тасымалы дене бөлшектерінің диффузиясы есебінен жүреді, сондай-ақ заттың толық массасының макроскопиялық қозғалыссыз күйі кезінде олардың кристалдық торының серпімді тербелістері – фротондар есебінен жүреді. Жылу тасымалдануының анағұрлым анық көрінісін қатты денелерде және сұйық пен газдың бастапқы қозғалыссыз қабаттарында бақылауға болады. Металдар мен жартылай өткізгіштерде жылу алмасу еркін электрондардың диффузиясы есебінен, сонымен қатар кристалдық тордың серпімді тербелістері есебінен жүзеге асады, яғни жылу өткізгіштік. Металдарда екінші, берілген аз, жартылай өткізгіштерде ол көбірек, ал диэлектриктерде негізгі болып табылады.

Конвекция кезінде жылу тасымалдануы заттың толық массасының еркін немесе еріксіз макроскопиялық қозғалысы есебінен заттың тасымалдануымен бірге жүреді. Сондықтан конвекция сұйықтар немесе газдарда ғана мүмкін болады. Еркін қозғалыс сұйықтың қыздырылған немесе суық бөліктерінің тығыздығының айырымы әсерімен жүзеге асады, ал еріксіз қозғалыстар – компрессорлар, желдеткіштер, т.с.с. көмегімен тудырылатын сыртқы күштер әсерімен жүзеге асады.

Қатты дене мен сұйық арасындағы жылу алмасу (мысалы, құбыр қабырғасы) қабырғадан алыс орналасқан сұйық массасында конвекциямен және конвекциялы жылуөткізгіштікпен жүзеге асады. Жылу алмасудың мұндай түрі конвекциядан өзгешелігі, конвективті жылуберу деп аталады.

Дененің сәулеленуіндегі жылуалмасуда олар бір бірімен үйкеліспейді және әртүрлі температура болғанда олардың арасындағы жылудың берілуі электромагнитті энергия арқылы жүреді. Екі еселік энергия айналуы жүреді.

Жылу алмасудың көрсетілген үш түрінен әртүрлі сәйкестік болуы мүмкін. Әрдайым нақты жағдайларда орын алатын мұндай қиын жылу алмасу жылуберілу деп аталады.

Егер де жылуөткізгіштік, сәулешығарғыштық коэффициенттерінің, сонымен қатар молекулалық диффузия коэффициенті анықталуы металдардың және олардың күйлерінің әртүрлі тұрақты қасиеттеріне байланысты қиындық тудырмаса, ал көптеген қиын қарастырылатын факторлардан (сұйықтықтың қозғалу тәртібі, олардың қасиеттері мен жылдамдықтары, беткі қабатының күйі, геометриялық формалары және т.б.) тәуелді массаберілу және жылуберілу коэффициенттерін анықтау өте қиын тапсырма. Сондықтан белгілі бір жағдайлардағы типтік модельдегі тәжірибелерге жүгінуге тура келеді.

Эксперимент нәтижелерінің бір объектен (модельден) екінші (реальды) ауысу мүмкіндігін негіздейтін түсініктер мен заңдардың жүйесі ұқсастық теориясы деп аталады.

Жылу балансы туралы алынған мәліметтер мынадай қорытынды шығаруға рұқсат береді: белсенді көміртегінің жылулық тәртібі негізінде екі процесс нәтижесінде: одан өтетін электр токтарының қыздырылуы (электр өрісімен жылдамдатылған зарядталған бөлшектердің ендірілуі) және айналасындағы электрлиттің қайнаудағы жылу берілісі. Сонымен қатар

қайнауың әртүрлі көбік тәрізді, өнген пленкалы қайнау тәртібіне өтетіні сияқты тәртіптері қойылады [51].

Ары қарай жылу тығыздығының кернеуін жоғарылатқанда, токтың түсуіне қарамастан электрод жоғарылайды. Вольт- амперлік сипаттамаларының айырмашылықтарының нәтижесінде катодтағы қыздыру төмен кернеулерде (120В) басталады, және анодтағы процеске қарағанда дәреже аймағы төмен кернеулерде қыздырусыз- ақ жүреді. Бұл жағдайда кернеуді (190 В дейін) көтеру қажет, содан кейін ғана анодта секірмелі түрдегі қыздыру пайда болады. Бұл жылу ағынының секірілімділігінің критикалық тығыздығын арттырған кезде, қайнауың пленкалық тәртібі орнатылады, жылу беру коэффициенті түседі, және электрод пленкалық қайнауға сәйкес келетін температураға дейін қызады. Бұл жағдайда кернеуді жоғарылату керек (190 В дейін), және содан кейін ғана анодты қыздыру секірмелі түрде болады. Бұл жағдай секірмелі ағындағы жылулық критикалық тығыздықты жоғарылатқанда, қайнауың пленкалық тәртібі орнатылады, жылу берілу коэффициенті түседі және электрод пленкалы қайнауға сәйкес температураға дейін қызады.

Ары қарай кернеуді жоғарылату электродтың балкуына дейінгі температураның жоғарылауына алып келеді. Орнатылған пленкалы қайнауың кернеуді төмендеткенде, электродтың төмендеу температурасына сәйкес, жылулық ағынның тығыздығының төмендеуіне алып келеді. Осылай келетін жылулық ағын тығыздығының минималдылығына сәйкес пленкалы қайнауың тоқтау уақытына дейін жалғасады (~473 К).

Тоқтауда көпіршікті қайнауға ауысу жүреді, жылу беру коэффициенті кенеттен өседі және электрод температурасы түседі. Бұл айырмашылықты жылу берілудің сипаттамасымен вольт-амперлік сипаттамаларында электродтың қыздыру мен дәрежесі анықталады. Электродтың температурасының өзгеруі кенеттен секірмелі тәріздес сипаттама дәрежесін өзгертпейтінін атап өту керек. Сұйықтықтың қайнауындағы жылу берілу коэффициенті көптеген факторларға тәуелді екенін атап өту керек [50.6306]. Л.Тонгпен жалпыланған мәліметтерге [49.6106] бұл сәйкес факторлар: беттің кедір-бұдырлығы, материал, беткі қабаттың керілістің өлшемі, беттің ластануы, сұйықтықтың араласуы, сұйықтыққа қатысты электродтың диаметрі және орнығуы, еріген газдардың бар болуы, электр өрістерінің болуы, қыздыратын электродтан алыс сұйықтық температурасы және т.б. Бұл факторлармен біз бақылап отырған тәжірибе жүру барысында және басқа да авторлар нәтижелерінің өнімдігі еместігімен түсіндіріледі.

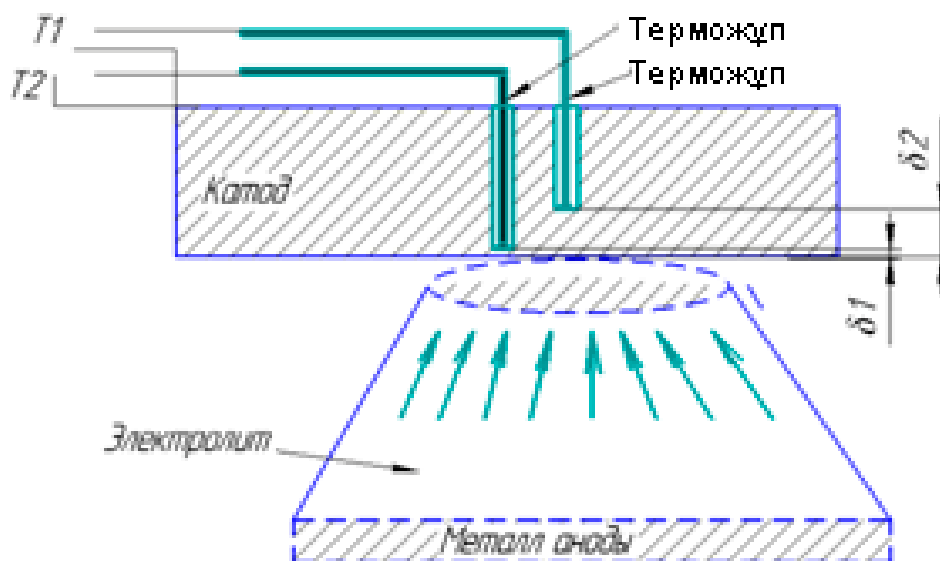
Электрод ондағы джоульдік жоғалтуларға дейін ғана болатындай қызбайды (осы тақырып тағы көптеген жұмыстарда болжалданған) [52], әртүрлі электр дәрежесіндегі оның беткі қабатына тоғымен зарядталған бөлшектерді енгізу арқылы да болады.

Температураның мұндай болуы мынадай қорытынды жасауға мүмкіндік береді: қызудың разрядталу аймағында газдың температурасы (булы қабықшада) электролиттің қайнау температурасынан аспайды айтпесе электрод қыздырылуы ыстық газдан ал суыту кез келген режимде болу керек еді.

Бұл арнайыландырылған тепе - теңсіз формадағы разрядқа жоғары температуралы электрондарға бірақ газ иондалуына жеткілікті және оның өткізгіштігін қамтамасыз ететін, төмен температуралы газдың таралған пленкалық разрядына, алып келеді. Ұсынылған электролиттік- плазмалық қыздыру механизмі онымен бірге жүретін сонымен қатар ертеректе түсіндіріле алмаған: электролиттің құрамы мен электродтың баяу және секірмелі өзгерісінен тәуелді стационарлық разрядтағы қыздырудың бар немесе жоқтығын түсіндіруге мүмкіндік береді.

Электролиттік-плазмалық өңдеудегі суыту және қыздыру процесстері

Үлгінің бетіндегі температураны анықтайтын тәжірибелік жұмыстар жүргізілді[53]. Үлгіні құрамында 0,3% көміртегі бар темір негізіндегі қорытпадан дайындады. Температураны өлшеу қыздыратын беттен 1,0 мм және 2,0 мм тереңдіктегі үлгі бұйымының екі қабатындағы табиғи термиялық жабыстыру әдісі арқылы дайындалған терможұптармен жүргізілді. Дәнекерлеулердің орналасуы (сурет-2) көрсетілген. Термиялық дәнекерлеуді үлгіде саңылаудың түбінен алюмельден жасалған шылбырдың шетін дәнекерлеу әдісі арқылы алады(сурет-2). Терможұптарды муфельді пеште қыздыру арқылы және эталонды термометрлермен температураларды өлшеу арқылы қалыптандырған. Температураны анықтауда [54] үлгінің бетінде бүкіл жылу ағыны бұйымның тереңдігінен бетіне жүреді деп қабылданды.



2-сурет. Электролиттік- плазмалық қыздыру процесі кезіндегі температураны өлшеуде үлгінің беткі қабатындағы термиялық дәнекерлеудің орналасу схемасы

Қыздырылатын қабаттың тілінген орны бұйымның беткі қабатындағы жылу ағынының таралуы еленбейтін қыздырылатын аумақтан он есе аз деп саналды. Бұл үлгінің екі қабатындағы температураны тәжірибелі өлшеудің нәтижелері арқасында бұйым-катодтың беткі қабатындағы температураны өлшеуге мүмкіндік береді.

Температураны өлшеудің нәтижелері мына формула бойынша жылу ағынының өлшемін есептеу мүмкіндігі

$$N = gF = \frac{\lambda}{\delta} F \quad (15)$$

Немесе меншікті жылу ағыны $g = \frac{\lambda}{\delta}(T_2 - T_1)$.

мұнда

N – жылу ағынының өлшем бірлігі, ккал/сағ

g – меншікті жылу ағыны, ккал·сағ/мм²

F – үлгінің қыздырылатын аумағы; мм²

λ – қыздырылатын материалдың жылуөткізгіштігі, Дж/сек

δ – термиялық дәнекерлеулер арасындағы ара қашықтық; мм

T_1 и T_2 – бұйымдағы сәйкес бірінші және екінші қабаттардың температурасы;

Онда үлгінің бетіндегі T_0 температурасын мына формула арқылы есептейді:

$$T_0 = T_1 + g \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} \right) \quad (16)$$

Формуланы (16) беттік материалдың қабат қалыңдығы бірінші қабатқа дейінгі деп есептегенде δ_1 тең болғанда алған. Мұндағы λ_1 – T_1 температурасындағы материалдың жылу өткізгіштігі g – T_1 және T_2 температураларын өлшегендегі тәжірибе нәтижелерінен қабылданған.

Тәжірибе нәтижелері қыздыру уақытынан беттік температураның өзгеруі графигі түрінде көрсетілген, (сурет-3). Үлгіні суыту мен қыздыру электрлік потенциалдың әртүрлі өлшемдерінде болады.

320В электрлік потенциалдағы қыздырғыштың электрлік тізбегі қосылған кезде үлгінің бетінде қызу жүретіндігін зерттеулер [55, 56, 57] көрсетті. Катодтағы энергия қуаттылығының тығыздығы 5-10 сек кейін беттік қабаттың балқуы болатындай жоғары. Бұйымның бетіндегі қыздырудың жылдамдылығы 500°C/с жетеді. (сурет-3, қисық-1)

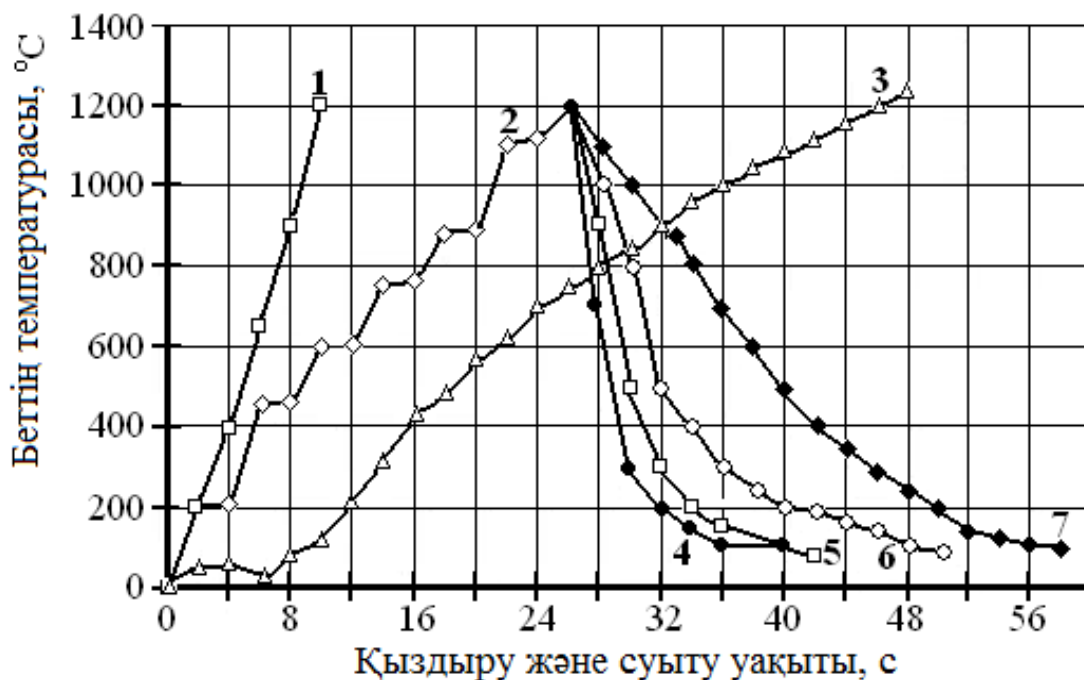
Электр потенциалы 320В және төменгісі 200 В жоғары кернеулерде болатын периодты қосуда қыздырылған қалыңырақ қабат (сурет-3, қисық-2) алуға және уақытты ұзарту мүмкіндігін беретін қыздыру жылдамдығының периодты төмендеуі және жоғарылауы байқалады.

200В кернеудегі қыздырғыштың электрлік тізбегінің қосылуы 8-12 секунд ішінде беттің іс жүзінде қызбағандығымен сипатталады. (сурет-3, қисық-3) Бұл электрлік тізбектің бастапқы кезеңіндегі токтың секіруі 0 ден 50-60 А/см² дейін болатындығымен негізделеді. Бұл процесстің созылуы 12 с дейін.

Тәжірибелер тұрақты плазмалы қабаттың пайда болуына дейінгі уақыт электрондық потенциал өлшемінен тәуелді екенін көрсетті.

Электрлік потенциалдың кернеуінің периодты жоғарылауы мен төмендеуі бесіншіден төртіншіге тіпті үшінші өзара әсерлесу аумағымен периодты ауысумен жүреді. Бұл қабаттың төмен қыздыру қуаттылығының

тығыздығын жоғарыға ауысытырып тұру нәтижесінде бұйымның беткі қабатының орташа жылдамдығын 30–60 °C/c алуға мүмкіндік береді. (сурет-3, қисық-2)



$U_1=320$ В; 2— $U_2=200$ В, $U_1=320$ В, $U_{\text{суыт}}=30$ В; 3— $U=220$ В қосқанда болатын электрлік потенциалды(1, 2, 3) және суытуды(4, 5, 6, 7), периодты түрде, ал суытуда: 4— $U_{\text{суыт}}=60$ В; 5— $U_{\text{суыт}}=40$ В; 6— $U_{\text{суыт}}=20$ В; 7— $U_{\text{суыт}}=0$

3- Сурет. Уақыт пен қыздырудан тәуелді бұйымның беткі қабатының температурасы

Бұйымның беткі қабатының суыту кезіндегі электрлік потенциалды қосу суыту жылдамдығын төмендетуге мүмкіндік береді (сурет-3, қисықтары4-7) және құрамында көп мөлшердегі көміртегі бар қорытпалардан жасалған бұйымдарды шынықтыруға мүмкіндік береді [58]. Суыту жылдамдығын төмендету қосымша электрлік потенциалдың қосылуы бесіншіден төртіншіге баяу ауысуды, содан соң үшіншіден екінші аумаққа сұйық электрод бетінің және катод- бұйымы арасындағы өзара әсер етуді қамтамасыз ете отырып плазмалы қабаттың пайда болу уақытын жоғарылатуымен түсіндіріледі.

Қыздыру қуатының тығыздығын периодты түрде өзгерте отырып 0.5 мм, 1.5 мм, 4 мм, 6 мм, 7 мм, 8 мм және 9 мм қалыңдықтағы шынықтырылған қабаттар алуға болады.(сурет-4) Берілген жағдайда қыздыру жоғары кернеуді $U_1=320$ В 2 секундқа және төмен кернеуде $U_2 = 200$ В 4 секундқа кезекпен қосылғанда пайда болады.

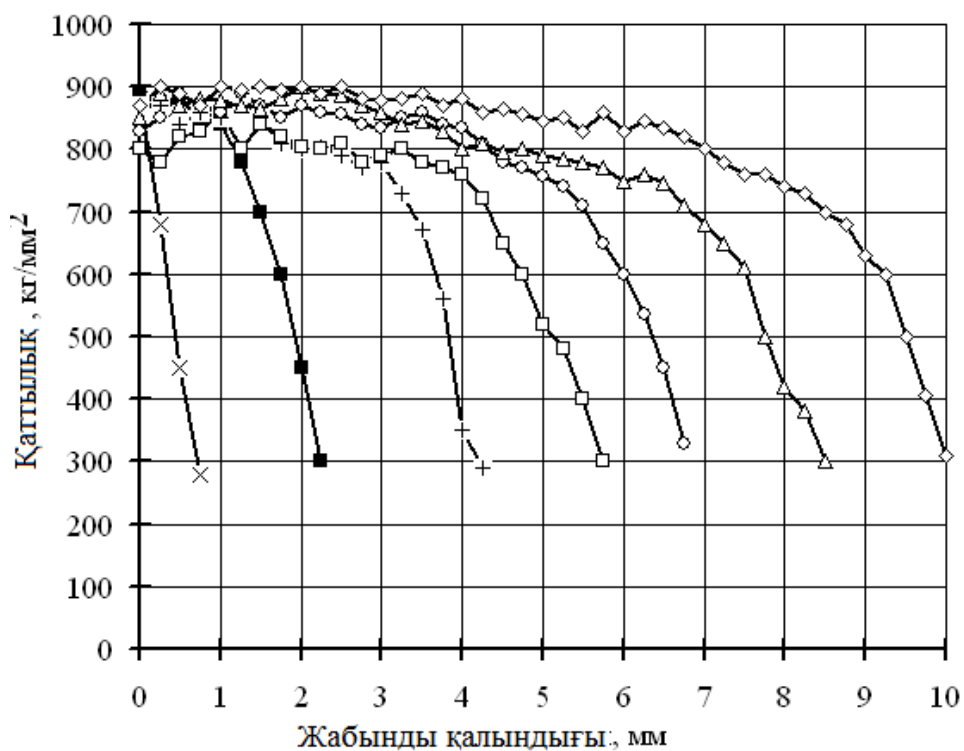
30 секундқа тең қыздырудың суммарлық уақытында шынықтырылған қабаттың қалыңдығы 4 мм ге тең болады.

Суммарлы қыздыру 70 секунд уақытта шынықтырылған қабаттың 9 мм қалыңдығын қамтамасыз етеді. Тәжірибе 50 мм қалыңдықтағы және құрамында 0,5% көміртегі бар тегіс үлгіде жүргізілді. Қыздыру мен суытуды 35 мм

диаметрі бар шығатын қақпақта қыздырғышпен жүргізді. Электродит ретінде 13% натрий карбонатының сулы ерітіндісін қолданды. Беріктендірілген қабаттың қалыңдығы қаттылық өлшеуішпен өлшенді.

Тәжірибе нәтижелерінің талдауы (сурет-4) кернеуі $U_1=320$ В и $U_2= 200$ В болғанда электр потенциалдарының қосылуының ауысуы 10 мм ге дейінгі тереңдіктегі бұйым беті қыздыруын қамтамасыз ететіндігін көрсетеді. Беткі қабаттың максималды қаттылығы (900 кг/мм^2) іс жүзінде беріктенген қабаттан тәуелді емес. Бұйымның беріктенген қабатының қалыңдығы максималдыдан (900 кг/мм^2) негіздің қаттылығына ($250\text{--}300 \text{ кг/мм}^2$) дейін баяу төмендейді, және ережеге сәйкес қыздыру уақытынан тәуелді емес [59].

Электрлік өрістің сұйық электродтар мен бұйымның беткі қабаты арасындағы периодты кернеуліктердің ауысуы электродитті-қыздыру мен шынықтырылатын құрылымдардың қалыптасуына қажетті термиялық режимдерді реттеуді қамтамасыз ететін беттің қыздыру қуат тығыздығын өзгертеді. Қыздырудың қуат тығыздылығын токтың тәжірибелі өлшеу өлшемдерімен, қыздыру аумағы мен кернеумен өлшеген [60]. Қыздырғыш шығу қақпағының диаметріне 30 мм ге тең болды. Электр тогының кернеуін 200В тан 30 В қа дейін ауыстырғанда токтың шамасы $30\div 45$ А көлемінде өзгерді. Осыған сәйкес қыздыру қуатының тығыздығы $1\cdot 10^3$ дан $3\cdot 10^3$ Вт/см² дейін өзгерді. Одан басқа электр разрядтарының тығыздығын басқару мүмкіндігі электродитті-плазмалы өңдеуде тазалау технологиясы, дәнекерлеу және балқытуды қамтамасыз етеді[61].



4- Сурет. Қорытпаның(0,50 % С) шынықтырылған беткі қабатының қаттылығы электр потенциалының кернеуі мен уақыты t тәуелділігі

1.5.2 Электрліттік-плазмалық өндеудегі термоциклды шынықтыру

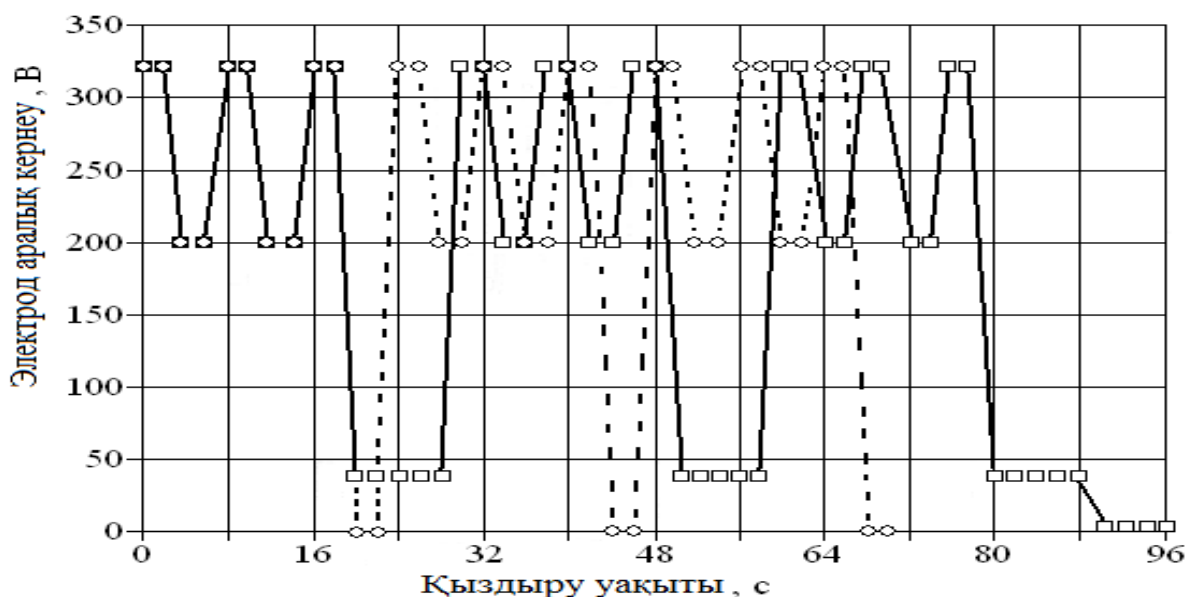
Жоғары мәнге (20–30 %) жоғары беріктік сипаттамаларға, тозу беріктігі қасиеттеріне ие қорытпаның микрокристаллды құрылымын алу «маятникті» тармоциклды өндеумен (ТЦӨ) алынатындығы белгілі[62]. ТЦӨ әдісі төртеуін қосады-30-50°C температураларға дейін және жоғары бес еселі қыздыру,сәйкесінше 50–80 °C айналу температураларынан төмен суыту.

Термиялық өндеу технологиясында ТЦӨ ережеге сәйкес, пешті қыздыруда жүреді. Бұйымның беткі аумақтарын электрлітті-плазмалы термоциклды өндеу іске асыру мүмкіндігі зерттеу қызығушылығын тудырады[63].

Электрлік потенциалдың кезекпен өшірілуі фазалық өзгерістер температурасынан төмен бұйымның беткі қабатының температурасының төмендеуін қамтамасыз етеді[64]. Жоғары кернеулерді қосу арасындағы тоқтауларда беттің суытылуы $U_{\text{суыт}}=20-36$ В кернеуіндегі электрлітте немесе мүлдем электр потенциалының қосылуынсыз $U_{\text{суыт}}=0$ жүргізілді. (суретте-5) электрлік потенциалдың қосылу диаграммасы көрсетілген. 2-3 қыздыру циклынан кейін потенциалды толық өшіреді немесе $U_{\text{суыт}}=36$ В ауыстырады.

Бұйымның беткі бөлігін қыздыру шараларын $U_1=320$ және $U_1=200$ В (сурет-5) электрлік потенциалдарын бір уақытта қосу арқылы іске асырады. Содан соң ондағы кернеуді, $U_1=320$ В электрлік потенциалын өшіру арқылы $U_2=200$ В шамасына дейін түсірді. Электрлік потенциалды мерзімді түрде қосу-өшіру шаралары, бұйымның беткі бөлігіндегі қабатты фазалық өзгерістер температурасынан да жоғары температурада қыздыруды қамтамасыздандырды. Одан кейін, электрлік потенциалдың кернеулілігін $U_{\text{суыту}}=36$ В шамасына ауыстыру шаралары іске асырылды, ол дегеніміз бұйымның беткі бөлігін фазалық өзгерістер температурасынан төмен температурада суытуды қамтамасыздандырды.Қыздыру мен суыту кезеңдерінің келесі қайталанылымдары термоциклды шынықтыру шараларын іске асыруға мүмкіндік берді [65].

Жүргізілген тәжірибелер көрсеткендей (сурет-5), электрлік потенциалдан $t_p=6-10$ с шамасына дейін толық өшіру шаралары, үлгінің беткі бөлігінің сууына алып келеді [66]. Бұл дегеніміз, бұйымға жылудың жинақталуына немесе онда жылудың сақталуына жол бермейді және жеңілдетілген қабатша 4 мм қалыңдыққа ие. Өшіру уақытын $t_p=2-4$ шамасына дейін түсіру, қабат қалыңдығын шамамен екі есе жоғарылатады.



○— $U_1=320$ В, $U_2=200$ В, $U_{\text{суыту}}=0$; □— $U_1=320$ В, $U_2=200$ В, $U_{\text{суыту}}=36$ В

5- Сурет. Термоциклдық қыздыру кезіндегі электрлік потенциалы қосылуының кезектелу диаграмасы

Жоғарылатылған потенциалды төмендетілген $U_{\text{суыту}}=36$ В потенциалына ауыстыру шаралары тіпті $t_p=10$ с уақыт ағымында да беткі қабаттың қайта сууына алып бармайды (сурет-6). Қыздыру мен суытудың үш кезеңінде қабаттың қалыңдығы 9 мм-ге жетеді [66].



Циклдар арасындағы суыту аралығы— t_p . Суытудағы электр потенциалы— $U_{\text{охл}}$: +
 $-t_p=10$ с, $U_{\text{охл}}=0$; □— $t_p=6$ с, $U_{\text{охл}}=0$; ○— $t_p=4$ с, $U_{\text{охл}}=0$; Δ— $t_p=2$ с, $U_{\text{охл}}=0$; ◇— $t_p=10$ с,
 $U_{\text{охл}}=36$ В

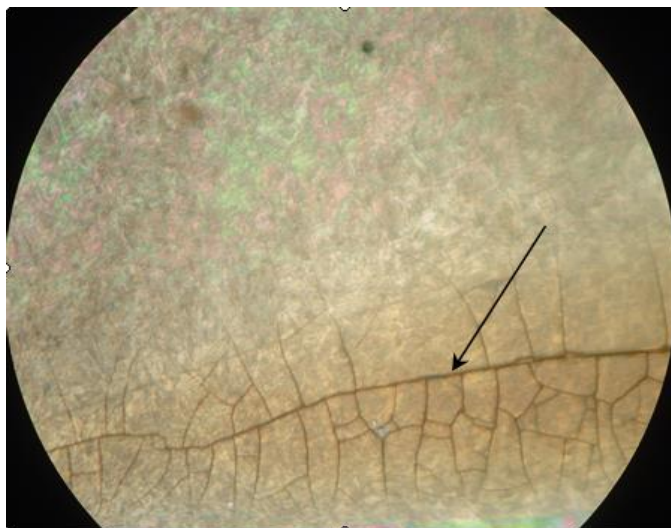
6- сурет. Термоциклдық өңдеуден кейінгі қорытпа үлгісінің беткі қабатының қаттылығының өзгеруі (0,50 % C)

1.5.3 Өндірістік жағдайда 20Х болатының беткі қабатында пайда болатын ақаулар

Болатты шынықтыру барысында пайда болу ықтималдылығы жоғары негізгі ақауларға бұйымдағы ішкі немесе сыртқы сызаттар, сынғыштық және қауыршақтану, сонымен қатар термиялық деформациялар мен бүрісулер жатады. Олардың түзілуінің алдын алу үшін келесі шаралар ұсынылады: яғни, бұйымдарды құрастыру барысында шығыңқы жерлердің, өткір бұрыштардың, қалың қиылыстардан жұқа қиылыстарға бірден өту процестерін және т.б мүмкін болса болдырмау қажет; толығымен қыздырылатын бөлшектер үшін мүмкін болатын анағұрлым төмен температураларда шынықтыру; сатылы шынықтыру шараларымен қол жеткізілген, температураның мартенситті аралығындағы баяу суыту, изотермиялық суару және жіберу шараларын суарудан кейін бірден орындау қажет. Деформация мен бүрісу деформация яғни бұйым формасы мен өлшемдерінің өзгерісі, біртексіз суыту мен фазалық өзгеріс процестерінен туындаған біртексіз көлемдік өзгерістердің әсерімен болатын термиялық және құрылымдық кернеулер нәтижелеріндегі термиялық өңдеу шаралары барысында пайда болады. Электролиттік-плазмалық өңдеу процесі. Оңтайландырылған процесі алынғаннан кейін, өңделген бөлшектердің алдыңғы және артқы бетінің қасиеттері тексеріледі. Беткі морфология анықталған бөліктері алынған нәтижелері айтарлықтай тегіс және жылтыр болды[65.128-бет]. Бұйымның симметриялық емес деформациясын іс-жүзінде көбінесе бүрісу деп аталады. Ол шынықтыру кезінде біртексіз және шамадан тыс қыздыру барысында, шынықтыру ортасына бөлшекті дұрыс қоймаған кезде және де температураның мартенситті аралығында жоғары жылдамдықты суыту барысында байқалады. Мұндай себептерді жою, бүрісу деңгейін айтарлықтай төмендетеді. Бүрісу құбылыстарын ұзын және жұқа бұйымдарда жою өте қиын. Оны төмендету үшін, мұндай бөлшектерді суару барысында түрлі құрылғылардағы сығылған жағдайда суытады. Шынықтыру шараларынан кейін, тіпті бүрісу процестері болғанның өзінде де бұйым өлшемдері бастапқы мәнімен сәйкес келмейді. Осы өзгерістер арқылы туындаған деформацияны, болаттың сәйкес құрамын таңдау және де термиялық өңдеу шарттарын таңдау арқылы төмендетуге болады.

Сызаттар. Шынықтыру барысындағы сызаттар, мартенситті айналу барысында пайда болған ішкі созылмалы кернеулер болаттың бұзылымдарға деген қарсылықтарынан асып түскен жағдайларда ғана пайда болады. Сызаттар, Мн (мартенситті өзгерістердің бастапқы кезіндегі температура) нүктесінен төмен температурада, көбінесе суыту шараларынан кейін түзіледі. «ВКМЗ» АҚ өндірісінің шарттарында 200⁰С-қа дейінгі жоғарылатылған жұмыс температурасы кезінде ауқымды соққылы жүктемені ескеретін кем дегенде 270м ұңғыманы бұрғылау бойынша қашаудың қажетті жұмысқа қабілеттілігін, айналмалыларды 58...63 HRC қаттылығына дейін шынықтыра отырып газды цементтеу арқылы қамтамасыздандырады. Цементтеліп болғаннан кейін ортаңғы бөлігі, яғни өзекшесі анағұрлым иілімді болып қалады және 45 HRC-ке дейінгі ғана қаттылыққа ие. Кезеңдеп жіберілетін цементтеу температурасы 960⁰С, ал осы болаттың шынығуының тиімді температурасы – 880⁰С. Мұндай

термиялық өңдеу шараларының кемшілігі (Сурет-7) бүрісулердің түзілуі, көміртегі мөлшері төмен болаттарда жарылымдардың пайда болуы [67], сонымен қатар көп еңбекті қажет етуі мен сәйкесінше энергияның да ауқымды бөлігін талап етуі болып табылады. Сызаттардың түзіліміне деген бейімділік, болаттың құрамында көміртегі мөлшерінің жоғарылауымен, шынықтыру температурасының жоғарылауымен және мартенситті өзгерістің температуралы аралығында суыту жылдамдығының жоғарылауымен өседі.



7- Сурет.20X болаты шынықтыру мен цементациядан кейінгі микроқұрылымы $\times 100$

Бағыттамамен термиялық өңдеудің ақауы көрсетілген сызаттардың пайда болуының басқа да себептері бұйымдарда кернеу концентраттарының болуы– бұйым қиылыстарының немесе жергілікті ойықтардың, тереңдіктердің, шығыңқы жерлердің және т.б күрт өзгеруі. Сызаттар – түзетуге келмейтін ақаулар. Осыған байланысты, термохимиялық өңдеу шараларының альтернативті тәсілдерін іздеу, маңызды іс болыптабылады. Сызаттар пайда болуының тағы бір себебі ол кернеу концентраттарының болуы- бұйымның ортасының кенеттен өзгеруі немесе жергілікті кесулер, тереңдету, шығыңқы жерлер және т.б. Сызаттар- жөнделмейтін ақаулар. Осыған байланысты альтернативті термохимиялық әдістерді іздеу тиімді әдіс болып табылады. Электролиттік-плазмалы беріктендіру тәсілі, келешегі зор тәсілдердің бірі болып табылады.

Сонымен, жоғарыда айтылғандарға қарап отырсақ, цементтеу кезінде, 20X болаттарында жоғарыда келтірілген кемшіліктер жеткілікті. Сол себепті біз электролиттік-плазмалық өңдеу шараларының көмегімен іске асырылатын бұрғылау құралын беріктендіру технологиясын қолдануды ұсынамыз.

ЭПО-нің келесі маңыздылығы бар болып табылады. Азкөміртекті болаттарды беріктіру тәсілдері ұсынылды. Ол тәсілдер $930-940^{\circ}\text{C}$ температураға дейін қыздыру шараларын, 1 мм цементтеу тереңдігін және $800-860^{\circ}\text{C}$ температурада шынықтыру шараларын қамтиды. Бұлтәсілде, бөлшектің қыздырылу шаралары электролитті-плазмамен іске асырылады. Ол процесскезінде электролитті 4-6 мм тереңдігіне батырады, тұрақты электрлі

тоқбереді, электролит ағынын суытады[68]. Бөлшектің беріктендірілмейтін бөлігі – қатты қорытпалы тісшелерді нығыздауға арналған саңылауларды электролитке батырар алдында оқшаулайды. ЭПО-ден кейін өзекше анағұрлым иілмелі болып қалады және 46,5HRC-ден төмен қаттылыққа ие болып табылады.

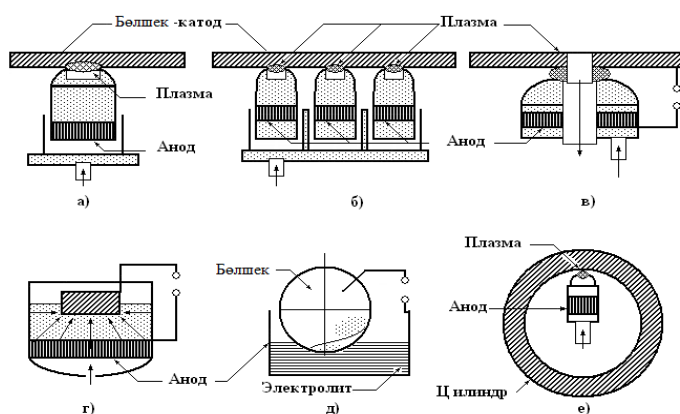
ЭПО-нің негізгі артықшылығы, ондағы металл деформациясының жоқтығы. ЭПО, қалыңдығы 2,0 мм-ге дейінгі беріктендірілген қабатқа ие болады. Бұл кезде, бөлшектер 200...300⁰С-тан жоғары температурада қыздырылмайды.

1.5.4 Болаттың беткі қабатын беріктендіру процестерін тездету жолдары

Келтірілген тәжірибе жұмыстары (кесте-11) көрсеткендей, технологиялық режимдерге байланысты бұйымның беткі бөлігінен, қалыңдығы 0,3мм-ден 10мм-ге дейінгі және қаттылығы 68HRC шамасына дейінгі шыныққан қабат алуға болады. Беріктендірілетін қабаттарды бұйым бетіне орналастыру шаралары, электролитті қыздырғыштардың беріктендірілетін беттерге қатысты орын ауысу жылдамдығы мен траекториясына тәуелді болып келеді[69].

Қорытпа құрамы мен қыздыру уақытына байланысты беріктендіру нәтижелері (кесте-11) келтірілген (қаттылық – HRC және қабат қалыңдығы – мм). Қыздыру уақыты, қыздыру кезеңінің санына *n* көбейтілген электрлік потенциалдың жоғары кернеуіндегі $U_1 = 320$ В қыздыру уақыты мен төмен кернеуге $U_2 = 200$ В ауысу уақытынан жинақталады.

Беткі бөліктің жергілікті аймақтарын өндеуге арналған құрылғылардың анағұрлым бір үлгідегі сұлбалары (сурет-8) көрсетілген. Мысалы, бұрғылау штангасының сыртқы беткі бөлігі мен қабаттың тегіс бетін беріктендіру үшін, қыздырғыш қақпақ түрінде (сурет-8а,б), ал беткі бөліктің қыздыру аймағы дөңгелек немесе эллипс формасында болып келеді. Өнімділік деңгейін жоғарылату үшін, өндеу шараларын бір уақытта 2-6 қыздырғышпен іске асыруға болады (сурет-8,б). Саңылаулардың жиектерін, яғни ернеулерін беріктендіру үшін, электролит ағымы анод өсі бойынша іске асырылатын қыздырғыштар игерілген (сурет-8,в).



8-Сурет. Бұйымдарды электролиттік-плазмалық беріктендіруге арналған технологиялық қондырғылардың схемасы

Қыздырылатын беткі бөлік, сақина формасына ие. Бөлшектің шеткі жағын, мысалы төлкенің шеткі бөлігін шынықтыру шаралары бұйымның беріктендірілетін бөлігін электролитпен толтырылған анод ыдысына батыру арқылы іске асырылады (сурет-8,г). Бұл жағдайда, бұйымның қыздырылған қабатының қалыңдығы, оны электролитке батыру тереңдігіне сәйкес келеді. Дөңгелекті ара түріндегі дөңгелек формаға ие болып келетін бөлшектерді [70], бұйымның төменгі жағынан жіберілетін электролитті қыздырғыштарды қолдану арқылы беріктендіреді (сурет-8,д). Ара тістері немесе дисктің шеткі бөліктері электролитке батырылады және сәйкесінше электрлік токпен қыздырылады. Цилиндрдің ішкі бетін беріктендіру шаралары, бұйымның ішкі бөлігіне енгізілетін азгабаритті қыздырғыштармен іске асырылады (сурет-8,е). Цилиндрдің ішкі бөлігіне қатысты, қыздырғыштың орнын ауыстыру шаралары, түрлі сыртқы пішіндерге ие болуы мүмкін болып табылатын беріктендірілген қабатты құруға мүмкіндік береді.

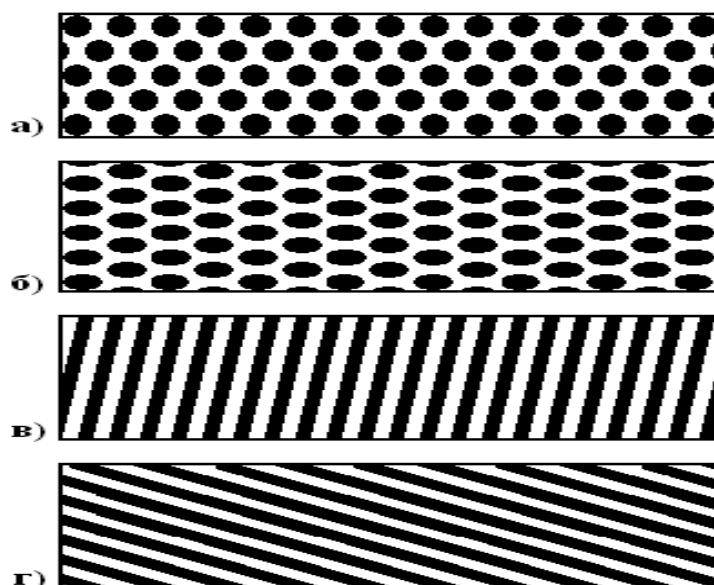
Кесте-11. Өңдеу режимі, қаттылықтың өзгеруі және болат құрамы

Қорытпа құрамы	Қыздыруақыты, $(t_v+t_n) \cdot n$, с	Қаттылық, HRC	Қалыңдық, Мм
0,4%С; 2%Cr.	$(2+4) \cdot 5=30$	62...64	3
0,4%С; 2%Cr.	$(2+4) \cdot 7=42$	64...65	4
0,4%С; 2%Cr.	$(2+4) \cdot 9=54$	64...65	5
0,4%С; 2%Cr.	$(2+4) \cdot 10=60$	63...65	7
0,4%С; 2%Cr.	$(2+4) \cdot 12=72$	62...63	10
0,2%С; 2%Cr; 0,25%Mn.	$(3+6) \cdot 4=36$	47...48	4
0,2%С; 2%Cr; 0,25%Mn.	$(3+6) \cdot 6=54$	47...50	6
0,2%С; 2%Cr; 0,25%Mn.	$(3+6) \cdot 7=63$	47...48	8
0,25%С; 11%Cr; 1%Ni.	$(2+2) \cdot 7=28$	55...56	4
0,25%С; 11%Cr; 1%Ni.	$(2+2) \cdot 10=40$	51...52	7
0,35%С.	$(2+2) \cdot 5=20$	52...55	2
0,35%С.	$(2+2) \cdot 10=40$	52...55	6
0,35%С.	$(2+2) \cdot 15=60$	50...53	10
0,4%С; 1%Cr.	$(2+2) \cdot 10=40$	62...64	6
0,4%С; 1%Cr.	$(2+2) \cdot 15=60$	62...63	10
0,65%С; 1%Mn.	$(2+2) \cdot 10=40$	64	5
0,9%С; 1%Cr; 1%V; 1%Mo.	$(2+2) \cdot 4=16$	67	1
0,9%С; 1%Cr; 1%V; 1%Mo.	4	68	0,300

Бұйымның беткі бөлігін фазалық өзгерістер температурасынан төмен температурада суытуды қамтамасыздандырды. Қыздыру мен суыту кезеңдерінің келесі қайталанылымдары термоциклдық шынықтыру шараларын іске асыруға мүмкіндік берді.

Беріктендірілген аймақтарды орналастыру шаралары, қыздырғыштарды бұйымның беткі бөлігіне қатысты ауыстыру траекториясына байланысты болып келеді (сурет-9). Қыздырғыштың шығатын жеріндегі қақпағы кез-келген геометриялық формаға ие болуы мүмкін [71] және соған сәйкес беткі бөліктің шыныққан аймағын құрады. Мысалы, эллипс түріндегі қақпақ, өзінің

формасына сәйкес келетін аймақтарды құрды және де сол құрылған аймақтарды шахматты ретпен (сурет-9,а) немесе түзілетін бұйымға қатысты бұрандалы желі бойынша (сурет-9,б) орналастыруға болады. Қыздырғыштың үздіксіз ауыспалылығы, беріктендірілетін беткі бөлікте түрлі құлау бұрыштары бар бұрандалы желілердің түзілуін қамтамасыздандырады (сурет-9 в,г). 15 мм-ден 50 мм-ге дейінгі бұрандалы желілер аймақтарының немесе енінің үлкен өлшемдері, беріктендірілген аймақ формаларына сипатты болып келеді, ол дегеніміз қысатын кернеулері бар қабаттардың құрылуына себепші болады. Қыздырудың салыстырмалы түрдегі шағын жылдамдығы, беткі бөлікті қорытпастан онда қалың шыныққан қабаттардың құрылуын қамтамасыздандырады.

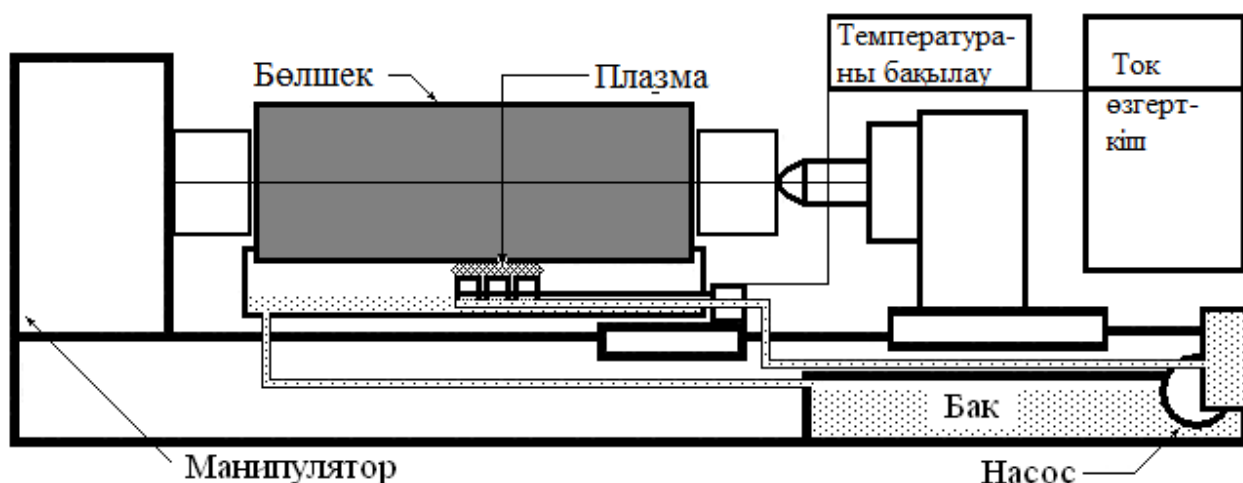


а) шахматты ретте орналасқан эллипс түріндегі аумақтар; б)винттік қатарда орналасқан аумақтар; в), г) пайда болатын бұйымдағы әртүрлі бұрыштағы шынықтырылған беттің сызықтары

9 -Сурет. Бұйымның бетіне шынықтырылған аумақтарды орналастыру схемасы

Электролиттік-плазмалық технологияны мұнай-газ,металлургия, тау-кен және ауыл шаруашылық кәсіпшіліктерінде қолдану тәжірибесі көрсеткендей[69.326-бет], ол технологиялар, бұйымның 10мм тереңдікте жатқан жергілікті аймақтарын беріктендіру шараларын іске асыру қажет болып табылатын бұйымдар қатарларына тиімді болып келеді. Беріктендірілген бұйымдарды кәсіпшіліктік сынау немесе тексеру шаралары жүргізілді: металды кесуге арналған пышақтар мен аралар, бұрғылау құбырларының құлыптары, жонатын конвейерлердің астаулары, қазба жүргізгіш комбайндардың кескіш ұстағыштары, тырма дискілері, ұнтақтағыш балғалары және т.б. Сынау шаралары көрсеткендей, беріктендірілген бұйымдардың жұмысқа қабілеттіліктері беріктендірілмеген бұйымдарға қарағанда 2-3 есе жоғары болып келеді.

Электролиттік-плазмалық өңдеу шараларына арналған жабдықтардың түрлері мен құрамы, беріктендірілетін бұйымның пішін үйлесімі мен салмағына байланысты болып келеді [70.685]. Мысалы, білік түріндегі цилиндрлік бұйымның беткі бөлігін беріктендіру үшін, орнатқыштар стандартты манипулятор базасында құрылады, (сурет-8). Бұйым орталық бөлікте орнатылады, ал станоктың суппортында қыздырғыштар бекітіледі. Электролит, станоктан алшақ орналастырылған бактан беріледі. Электрлі энергияны түрлендіруші ретінде плазмалы техникада қолданылатын стандарт қолданылады. Бұл жерде, электролитті қыздырғыштар мен басқару пульттері ғана стандартсыз болып табылады.



10- Сурет. Цилиндрлік бұйымдарды электролиттік- плазмалы беріктендіруге арналған қондырғы схемасы

Электролиттік-плазмалық токты ажырату ерекшелігін ескере отырып, процестің энергетикалық сипаттамаларына басты назар аударылған. Жұмыс барысында процестің вольт-амперлі, вольт-температуралы және вольт-секундты сипаттамаларына аса мән беріледі. Бұл дегеніміз келесідей себептерден туындайды:

- электролиттік-плазмалық токты ажырату аймағы көлемінің кішілігі;
- өңделетін беткі бөліктің түрлі жағдайы;
- нәтижелердің қайта қалпына келтірілмейтіндігі.

Бірінші тарау бойынша қорытынды

Мұнай қондырғы бұйымдарының өзекті бөлшектерінің беттік беріктігін және үйкеліске төзімділігін арттыру үшін тиімділігі жоғары, электр энергия шығыны аз және экологиялық таза электролиттік-плазмалық өңдеу технологиясын жасау әлі ғылыми неізде жолға қойылмаған. Электролиттік-плазмалық өңдеу режимдеріне байланысты азлегірленген болаттардың, алюминий қорытпаларының беттік қабаттарының құрылысы мен фазалық құрамының қалыптасу ерекшеліктері зерттелмеген.

Мұнай қондырғы бұйымдарының болаттан жасалған бөлшектің механикалық беріктігі, қаттылығы мен үйкеліске төзімділігі олардың беткі

кабатының фазалық құрамы мен құрылысына байланысты зерттеу ғылыми және өндірістік тұрғыдан аса маңызды мәселе болып табылады.

2 ЗЕРТТЕУ ӘДІСТЕРІ

Диссертациялық жұмыс “ӨӨАЗ”АҚ Компаниясында жасалынатын даяр бұйымдардың және мұнай-газ жабдықтарның құбыр өткізгіш арматурасын электролиттік-плазмалық өңдеуге(ЭПӨ) бағытталған.

ЭПӨ технологиясы бұйымдардың тозуға төзімділігін арттыруға, технологиялық үрдісті автоматтандыруға, сонымен қатар еңбек сыйымдылығын төмендетуге және өндіретін өнімнің өзіндік құнын 30-40%ға азайтуға мүмкіндік береді, ол өз кезегінде өнімнің жоғары сапасын, ішкі және сыртқы нарықтағы бәсекелестік басымдылықты қамтамасыз етеді[72].

2.1 Зерттеу әдістерімен мен аспаптары

Зерттеу жұмыстары мен байқаулар аймақтық университетіндегі «IPGETAC» инженерлік бағдарының зертханасында және Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан мемлекеттік техникалық университетінің Аймақтық ғылыми-технологиялық «Алтай» паркінде өтті. Металлографиялық талдау «Sony» сандық бейнекамерасы бар «Axioscop-2MAT» металлографиялық микроскопында жүргізілді. Электролиттік- плазмада өңделген үлгілердің элементтік құрамы «OXFORD Instruments» фирмасының INCA Energy энергодисперсиялық микроталдау приставкасы бар, JEOL фирмасының (Жапония) растрлық электрондық JSM-6390LV(РЭМ) микроскопында зерттелді. Анықталатын элементтер – бордан уранға дейін. Микроқаттылыққа өлшеулер ГОСТ 9450–76 сәйкес Р=2Н жүктемесінде алмазды пирамидасы бар ПМТ-3 аспабында жүргізілді.

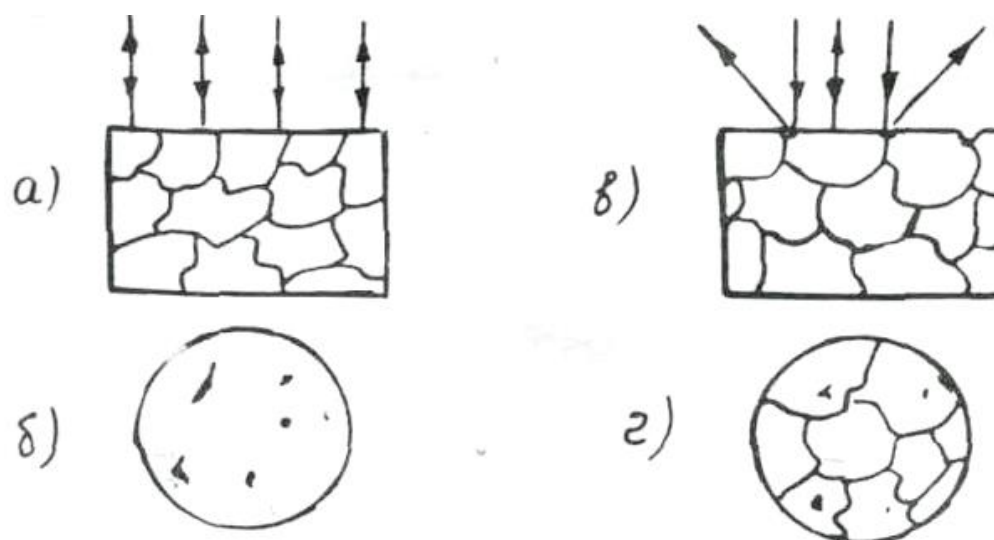
10×10×20 мм мөлшеріндегі үлгілер салқындататын сұйықтыққа енгізілген үлгінің шаржыларынан (термиялық өңдеуге дейін) қалыңдығы 1мм алмаз дискпен кесіп алынған. Кіші жылдамдықпен кесу кезінде $n = 350$ об/мин және төмен жүктемеде $m = 250$ г, үлгі деформация мен термиялық әсер алмайды. Жылтыратудан кейін (хромның қос қышқылды пастасы) металлографиялық талдау үшін тілімтас азот қышқылының 5%-тік спирт ерітіндісімен өңдеуге ұшыраған[72].

2.1.1 Микроүлгіні (микрошлиф) дайындау

Сынаққа түсетін тетіктен кесіліп алынған үлгінің беті егеу қағазымен (ірі түйіршіктен ұсақ түйіршікті қағазға ауыстырылып отыру керек) тегістеледі. Микрошлифтің бетін айнадай жарқырату үшін оны ажарлау білдегімен немесе электрхимиялық әдіспен өңдейді[73].

Микрошлифтің жалтыратқан бетін химиялық активті орталарда (қышқылдар, сілтілер, тұздар) уландыру арқылы ішкі құрылымын көруге мүмкіншілік тудырады. Реактивке металл құрылымы әртүрлі әсерленуіне қарай үлгінің бетіндегі түйіршіктердің шекаралары – терең ойым, еріп кеткен түйіршіктер – үңгілеу, ерімегендері – дөңестеу болып көрінеді (сурет-11).

Мұндай бетке түскен жарықтың ағыны жұтылады, шашырайды немесе микроқұрылымының суретін көрсетіп тиісті беттерден шағылысады.



а) химиялық реактивтермен уланбаған микрошлифтiң бетiнен жарықтың сәулесiнiң шағылысуы; б) химиялық реактивтермен уланбаған микрошлифтiң бетiн зерттеуде микроскоптан көзге көрiнетiн кiрмелер; в) химиялық реактивтермен уланған микрошлифтiң бетiнен жарықтың сәулесiнiң шағылысуы; г) химиялық реактивтермен уланған микрошлифтiң бетiн зерттеуде микроскоптан көзге көрiнетiн микроқұрылым.

11- Сурет. Химиялық реактивтермен улаудың мәні көрсетiлген схема

Электронды микроскоптарда микрошлифтiң бедерi аса дәлдікпен түсiрiлген көшiрмесi (лақты, көмiртектi, кварцты) немесе зерттелетiн материалдың жұқа қабыршықтары оқып зерттеледi. Қабыршық бөлiктерiне немесе жұқа көшiрмелерге түскен электрондар өте аз шашырайды да, олардың бейнелерi жарық немесе күңгiрт болып көрiнедi.

2.1.2 Микроскопиялық талдау

Металдың құрылымын микроскоп арқылы зерттеу микроскопиялық талдау деп аталады. Металлографиялық микроскоптардың жұмыс принциптерi сәуленiң шағылысуына негiзделген. Көп тараған микроскоптар қатарына МИМ-7, МИМ-8 типтi микроскоптар жатады. Олардың көмегiмен микроқұрылымдарды зерттеуге және суретке түсiруге болады.

Талапқа сай үлкейту үшiн жарықтың сәулесiн немесе линзалар мен призмалар (оптикалық микроскопия) немесе электрстатикалық линзалар (электронды микроскопия) қолданылады. Тетiктердiң iстен шығу себептерiн бiлу үшiн микроталдауға арнаулы дайындалған микрошлифтер арқылы фазалық құрамын, құрылымын, өңдеу сипаттамаларын, түйiршiктер санын, түйiршiктер өлшемiн және металл емес кiрмелердi анықтайды.

2.1.3 Болаттың қаттылығын өлшеу

Микро- қаттылық, шаршаңқы қаттылық пен тозуға төзiмдiлiкпен бiрге, металл мен қорытпалардың механикалық сипаттамаларын өте кең қолданатындардың қатарына жатады [74,75]. Осы кезде микро қаттылықты тексеру шаралары басқа тәсiлдерден, сезiмталдығы жоғары материалдардың

механикалық қасиеттерін анықтауы мен тексеруге кететін шағын ғана уақыт көлемімен ерекшеленеді. Ол үлгілерді еш бұзбастан іске асырылады, сонымен қатар оларды дайындауға болмашы шығын кетеді. Қорытпа үлгілерінің микро қаттылығын өлшеу шараларын МЕСТ 9450-76 стандартына сәйкес ПМТ-3 құралында жүргізді, оларды $P=2Н$ инденторына жүктейдідеонда 10 секунд уақыт ұстап тұрды. Бұл жұмыстарда материалдың микроқаттылықтарын анықтау тәсілдері жайлы, тексеру шаралары барысында ерекше орынға ие болып табылатын микроқұрылымдық өзгерістер жайлы, микроидентирлеу процестерінің физикалық табиғаты жайлы жеткілікті түрдегі толыққанды мәліметтер бар. Микроқаттылықты өлшеу барысында индентор ретінде қарама-қарсы жатқан қырлары арасындағы төбе бұрышы 136^0 болып келетін түзеткіш төрт қырлы алмазды пирамиданы қолданды. Ол дегеніміз Викерс бойынша қаттылықты анықтау шараларына ұқсас болып келеді[77].

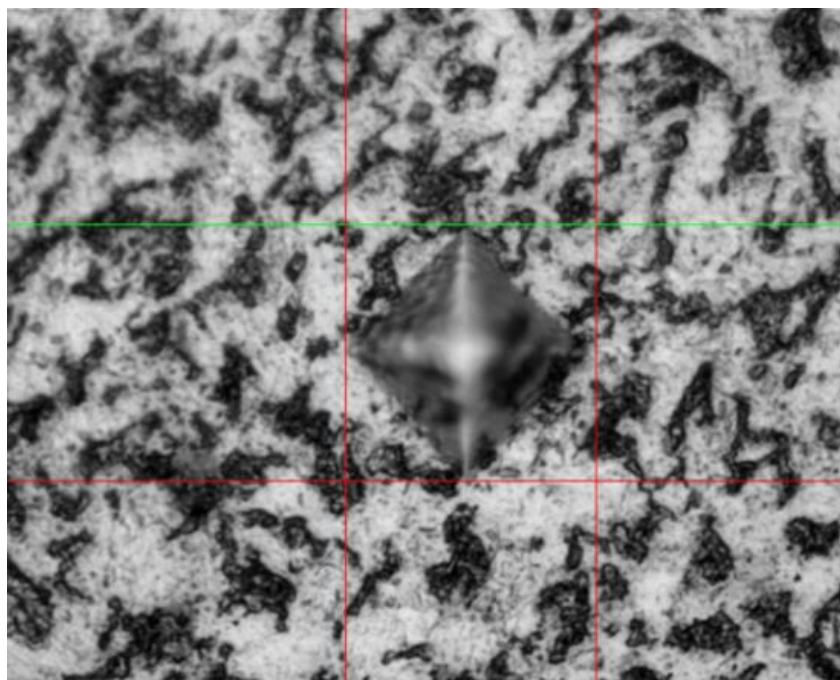
Қаттылық деп металдар мен қорытпалардың беткі қабатына басқа бір қатты дененің енуіне қарсылық көрсетер қабілеті аталады. Материалдың қаттылығын анықтау үшін оның беткі қабатына белгіленген күшпен индентор (болат шаригі, алмаз конусы мен пирамидасы немесе инелер) батырылады. Инденторлардың материалдың бетіне түсірген ізінің мөлшеріне байланысты оның қаттылығы анықталады. Материалдың қаттылығы оны анықтау әдісіне байланысты сипатталады. Мысалы, Бринелль бойынша қаттылығы (НВ), Роквелл бойынша қаттылығы (HRC). Қаттылықты өлшеу және сараптау құралы (сурет-12) келтірілген.



12 -Сурет-. Қаттылықты өлшеу және сараптау құралы

Роквелл бойынша қаттылық – индентордың ену тереңдігіне кері шартты шама. Бұл тәсілмен анықталатын қаттылық HRA, HRB, HRC әріптерімен белгіленетін өлшемсіз шама.

Бұл әдісте индентор ретінде алмасты конус немесе шындалған болат шарик алынады. Бринелль әдісінен айырмашылығы қаттылықты анықтау ойықтың ауданы бойынша емес, тереңдігі арқылы есептеледі. Ойықтың тереңдігі батыру процесі кезінде өлшенетіндіктен сынақты жүргізу жеңілрек. Жүктеме екі кезеңде біртіндеп түсіріледі (ГОСТ 9013-59): алдымен бастапқысы, 10 кг/с тең салмақпен (серішпелік деформацияның әсерін және әртүрлі кедір-бұдырлық ақауларды жою үшін), сонан соң негізгі салмақтағы жүктеме беріледі (сурет-13).



13- Сурет. Роквелл әдісі бойынша қаттылықты өлшеу кезіндегі ұштықтың орыны

Роквелл әдісімен қаттылықты келесідей өлшеуге болады:

– Алмазды конуспен жалпы жүктеменің салмағы 150 кг/с. Қаттылық С шкаласы бойынша өлшеніп HRC деп белгіленеді (мысалы, 65 HRC). Бұл сияқты қаттылықты өлшеу шынықтырылған және жасытылған болаттар, орта қаттылығы бар, беткі қабатының қалыңдығы 0,5 мм астам материалдар үшін жүргізіледі[78].

– Алмазды конуспен жалпы жүктеменің салмағы 60 кг/с. Қаттылық А шкаласы бойынша өлшеніп HRA деп белгіленеді. Қаттылығы өте жоғары материалдарды және беткі қабатының қалыңдығы жұқа(0,3...0,5 мм) және жұқа парақты материалдардың қаттылығын өлшеу үшін қолданылады.

– Болат шарикпен жалпы жүктеменің салмағы 100 кг/с. Қаттылық қызыл В шкаласы бойынша өлшеніп HRB деп белгіленеді. Бұл сияқты қаттылықты өлшеу жұмсақ (жасытылған) болаттар және түсті қорытпалар үшін жүргізіледі. Роквелл әдісімен қаттылықты өлшеу кезінде үлгінің бетін өлшеуге кедергі туғызар ақаулардан тазартып тегіс етіп мұқият дайындау керек. Үстелге үлгінің дұрыс қойылуын (түсетін күштің параллель болуы, үлгінің

тиянақтылығы) қатты қадағалау қажет. Конуспен өлшеу кездегі ойықтардың ара қашықтықтары 1,5 мм, шарикпен өлшеу кезде 4 мм – ден кем болмау керек.

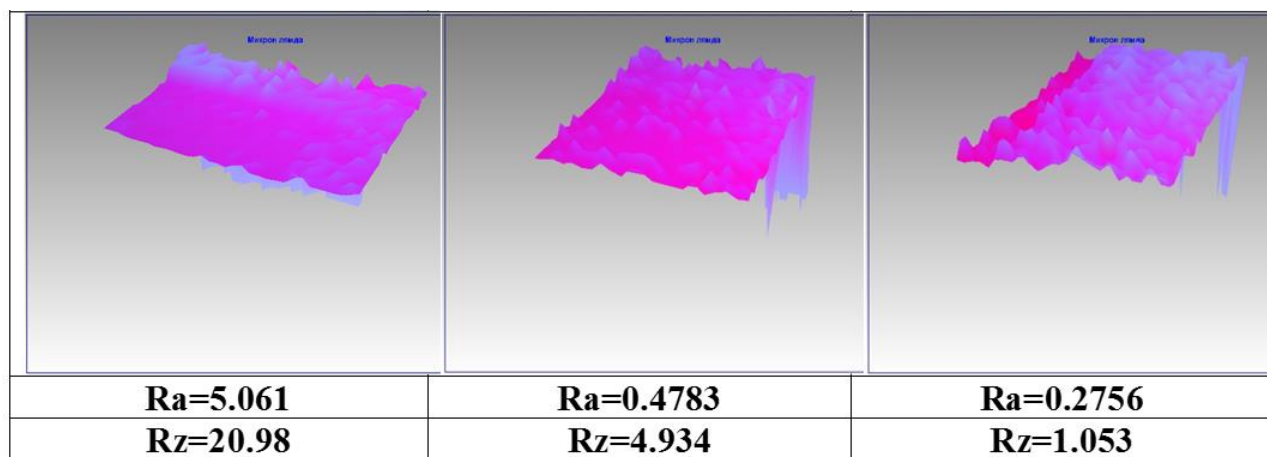
2.1.4 Беттің тегістігін өлшеу

Кедір-бұдырлық – дегеніміз зерттелетін бетті базалық ұзындығында салыстырмалы түрде аз қадамдық, тегіссіздіктердің жиынтығы.

Беттің кедір-бұдырлығы тетіктердің сапалы жұмыс істеу көрсеткішін төмендетеді. Қозғалмалы қондырмада кедір-бұдырлық беттің уақытынан бұрын тозуына әкеп соғады, себебі тетіктердің жұмыс істеу кезінде металл тарақшалары үйкеліп, маймен араласып беттің тозуын жылдамдатады. Қозғалмайтын қондырмада кедір-бұдырлық бекіту беріктігін бәсеңдетеді, өйткені тарақшалардың сығылуы кезінде қосылыста керіліс тартылысы азаяды. Кедір-бұдырлықтың негізгі номаларымен сандық мөлшерінде стандарты түрінде бірнеше параметрлер ескертілген. Олардың есебі біріңғай база m профилінің ортаңғы сызғы алынады[79].

Профильдің ортаңғы сызығы дегеніміз- профильдің номиналды формасы бар базалық сызық және профильдің орташа квадраттың ауытқуы базалық ұзындық мекенінде ең кіші мөлшерінде негізгі параметрлері көрсетілген.

Базалық ұзындық l дегеніміз беттің кедір-бұдырлығын сипаттайтан және параметрлерінің мөлшерін анықтайтын базалық сызықтың ұзындығы. Беттің кедір-бұдырлығын нормалау және мөлшерін есептеуде биіктіктің параметрлары Ra , Rz , R_{max} қадамдық параметрлері S_m және S пен формалық параметр t_p қолданылады (сурет-14).



14- Сурет Кедір-бұдырлықтың негізгі параметрлері

Ra параметрі профильдің барлық тегіссізділгі орташа биіктігін сипаттайды. Rg -ең үлкен тегіссіздіктердің орташа биіктігі, R_{max} профильдің ең үлкен биіктігі. Қадамдық параметрлер S_m , S және t_p -әртүрлі формапарды есептеуде және тегіссіздіктің сипатты нүктелерінің өзара орналасуында қолданылады. Бұл параметрлер профильді спектрлі сипаттауды нормалауда пайданылады Ra , Rz , S_m және S параметрлерінің сандық мәндері МСТ 2889-73 те көрсетілген.

Беттің кедір-бұдыр диапазонның өзгеруіне байланысты бір немесе бірнеше параметрлер мен есептелінеді ($R_a=100-0.008$ мкм дейін өзгереді, R_z және R_{max} 1600 ден 0,025 мкм дейін 8т және $8=12,5$ тен 0,002 м дейін).

Кедір-бұдырлық параметрлері тетіктің жұмыс істеу шартына байланысты алынады. Бұйымның жұмыс істеу тәжірибесі көрсеткендей, төмендегі кедір-бұдырлық параметрін қолдануға болады: үйкеліс, таю, тербелу және қажалуға жұмыс істейтін беттер үшін R_a , R_z , tr және кедір-бұдырлық бағыттары; Контактты кернеуде жұмыс істейтін тетіктер үшін R_a және R_z , tr ; қосылған тетіктердің салыстармалы түрде қозғалмалы қосылысты жасау үшін (проессті қосылыстар) R_a немесе R_z ; ауыспалы күштер түсетін тетіктерде R_{max} , S_m немесе S ; тегіссіздік бағыттары герметикалық бекітелін беттер үшін- R_a не R_z , tr қолданылады.

R_a , R_z параметрларын таңдау кезінде R_a -ға көп көңіл болу керек себебі бұл параметр кедір-бұдырлыққа толық баға береді. Параметрлерды таңдауда техникалық және экономикалық қатынастары толық негізделуі керек. Тетіктерді жинау және жұмыс істеу процесстерінде майласу және микротегіссіздіктерінің үлкейу процестері болады, сол себепті тетіктердің формаларында және өлшемдерінде қосымша өзгерістер болады. R_a - R_z параметрлерін кесте арқылы белгіленеді онда өлшемнің дәлдігі өндеу түрі және кедір-бұдырлығы көрсетіледі.

R_z он нүктедегі профильдің кедір-бұдырлықтың биіктігі, профильдің бес нүктедегі ең үлкен биіктіктің және бес ең үлкен ойығының ауытқуы базалық ұзындықтың орта арифметикалық абсолютты қосындысы.

$$R_z = \frac{1}{5} \left(\sum |H_{max}| + \sum |H_{min}| \right) \text{түзу сызық формасы бар ортаңғы сызық үшін.}$$

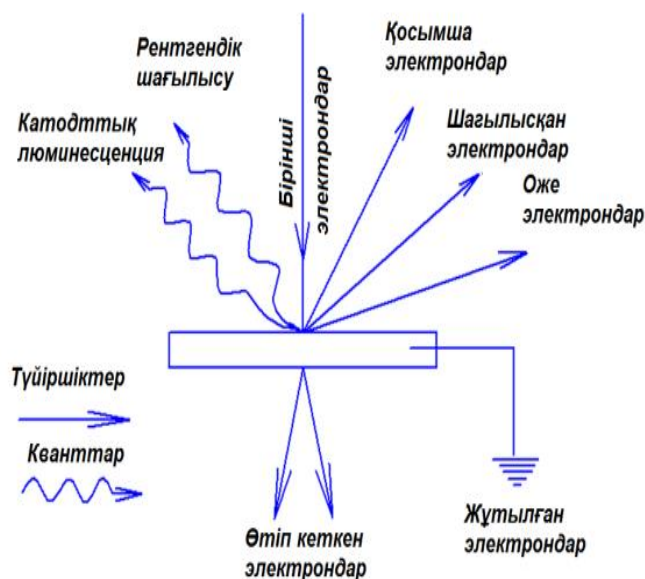
h_{min} мен h_{max} -еркінді түзу сызықтың қатынастығы бар ортаңғы сызыққа паралельді және де профильді қиылыспауы мен анықталады.

2.1.5 Растрлы элементтік талдау

Электролиттік- плазмада өңделген үлгінің элементті құрамы INCAEnergy фирмасы «OXFORD Instruments» энергодисперсті микроанализді қосымшасы бар JSM-6390LV – фирмасы JEOL (Жапония) растрлы электронды микроскобында зерттелді. Электрондар мен заттардың өзара әсерлесуінде монитор экранында кескінді синхронды құрастыру үшін пайдаланатын әртүрлі формадағы жауапты сигналдары(кескінді және екілік электрондар, Оже-электрондары, рентгендік сәулелену, жұтылған ток және т.б) пайда болады[76]. (сурет-15) электронды зондтың әсерінен пайда болатын екілік сигналдардың схемасы көрсетілген. Кескіннің пішінделуі үшін электрондық-оптикалық жүйе қолданылмайды, кескіннің масштабтарының өзгеруі радиотехникалық заттармен жүргізіледі. Растрлы электронды микроскоп қалыпты атмосфералық қысымда оның фокусировкасын жоятын электронды ұшқындар қатты таралып және жұтылатындықтан вакуумдық аспап болып табылады.

Сондықтан микроскоп камерасындағы жұмыс вакуумы 10^{-5} тор немесе одан жақсырақ болуы керек [80]. Үлгінің беті бойынша зондтың орналасуы өте

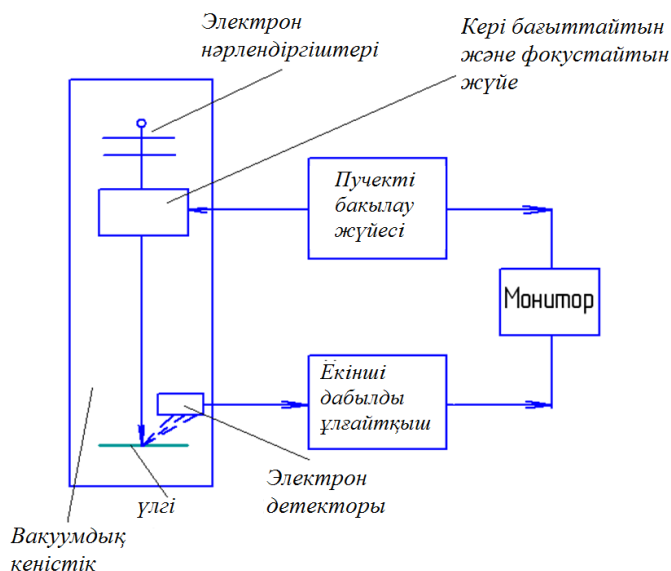
жоғары дәлдікпен жүргізілуі керек. Ауысу дәлдігі және зондың өлшемі микроскоптың рұқсат ету өлшемін анықтайды.



15- Сурет. Үлгімен электрондық зондтардың өзара әрекеттесуіндегі екілік сигналдардың қалыптасу схемасы

Электрон ұшқындарының үлгінің бетімен өзара әсерлесуі нәтижесінде сәйкестендірілген берілгіштермен тіркелетін жауапты реакция пайда болады.

Растрлы микроскоптың негізгі өзектерінің схемасы (сурет-16) көрсетілген. Арнайы конденсерлі жүйесі бар электрон көздеріндегі электронды ұшқындар зонд күйінде жақсы қалыптандырылады және растр құрайтын үлгінің бетінде траектория бойынша ұшқындарды араластыратын басқарушы электродтар немесе электромагнит жүйелері арқылы өтеді. Берілгіштермен тіркелетін белгі әрі қарай монитордың электр-сәулелі құбыршасындағы электронды ұшқынның жарықтығының модуляциялау үшін қолданылады. Бұл белгінің өлшемі үлгі бетінің физикалық қасиеттерінен тәуелді болады және нүктеден нүктеге ауысып отыруы мүмкін. Нәтижесінде монитор экранында зерттелетін үлгінің физикалық қасиеттеріне сай топографияны көрсететін үлгінің беткі қабатының кескіні пайда болады. Осылайша беттің күйін және ақаулар біртексіздігінің топографиясын зерттеуге болады: мысалы, беттің топологиясын (түйіршіктер шекарасын, кеуектер, сынықтар, құрам біртексіздігін және т.б) – кескіндемелі және екілік электрондарда[81].



16- Сурет. Растрлы электронды микроскоптың блок жүйесі

Бірінші кезекте растрлы электронды микроскоп (РЭМ) беттің құрылымын зерттеу үшін қолданылады. Қазіргі уақытта шығарылып жатқан аспаптар ондықтан бірнеше мыңдаған үлкейтулерге шамасы жетеді. Зерттеу мүмкіндігі үлгінің құрамында сол немесе басқа химиялық элементтің бар болуы емес, сонымен қатар үлгінің беті бойынша таңдалған элементтің химиялық элементтердің таралуы растрлы электронды микроскоп әдісін ерекше етеді.

2.1.6 Рентген құрылымдық талдау

Сапалы және көлемді болат үлгілерінің құрылымдық фазалық талдауларын $Cu-K\alpha$ сәулеленуін қолдана отырып, «X'Pert PRO» фирмасының «PANanalytical» дифрактометрінде жүргізді. Үлгілерді түсіруді Брэгг – Брентано фокустау кескіндеу жүйесімен $K\alpha$ мыстық және кобальттық сәулеленуінде жүргізді. Кобальтті сәулеленудегі дифрактограммадағы түсіруде β -сызықтарын жою үшін темірде β - фильтр селективті жоюды, ал мыстағы түсіруде никельден жасалған фильтр пайдаланды. Мысты сәулеленудегі түсіруде үлгілердің суретіне дифракционды флуоресцентті сәулеленуді жою үшін қалыңдығы 0,05 мм Al-фольгасын қолданды.

Үлгілерді дайындау, түсіру тәртібін таңдау және дифрактограммаларды есептеуді жұмыста берілген әдістемелер арқылы жүргізді [81.144-бет].

Тегістік арасындағы қашықтық d Вульфа-Брэгга формуласы бойынша анықталды:

$$(d)n = \lambda / (2 \sin \theta)$$

λ - рентгендік сәулеленудің сипатталу толқын ұзындығы;

n - кескінделу қатары;

θ - дифракция бұрышы;

Фаза кристаллдык торының түрі және интерференция индекстерін Q қатары бойынша анықтады, әрбір фазадан анықталатын:

$$Q = \sin^2 \theta_i / \sin^2 \theta_1 \quad (18)$$

θ_i – берілген сызықтың бұрышы, ал θ_1 – бірінші сызықтың бұрышы;

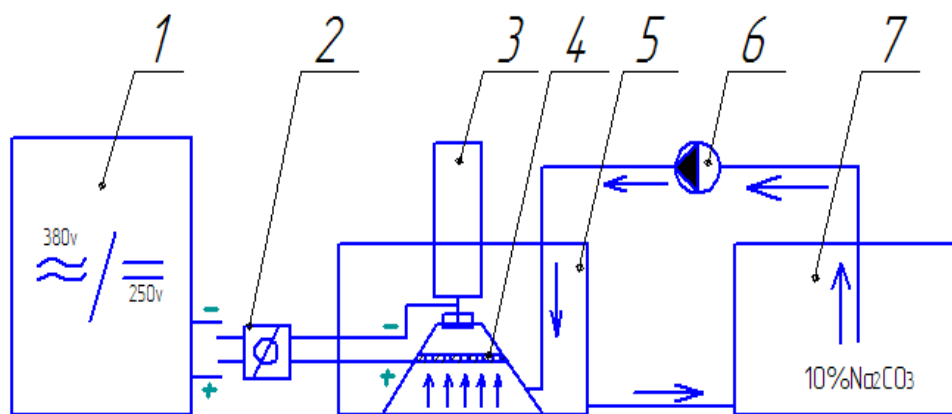
Зерттелетін материал үшін d/n құрамын анықтап және оны алдын ала белгілі таза заттар үшін берілген d/n , олардың әртүрлі қосылыстарын анықтап алып берілген материалдың қандай фазасы бар екенін анықтауға болады [81.145-бет].

Бірақ химиялық құрамы емес фазалар анықталатын атап өту керек, алайда сол немесе басқа фазалардың қосымша элементтік құрамы жайлы мәліметтер берілсе соңғысын шығаруға болады. Зерттелетін материалдың химиялық құрамы белгілі болса сапалы фазалық талдаудың тапсырмасы жеңілдейді себебі ол кезде берілген жағдайдағы фазадағы мүмкін болатын болжамдарды жасауға болады.

3 ТӘЖІРИБЕЛІК ЗЕРТТЕУ НӘТИЖЕЛЕРІ

3.1 Лабораториялық ЭПӨқондырғысын жасау

Электролиттік-плазмалық өндеуге арналған лабораториялық қондырғының схемасы 17- суретте көрсетілген. Бұл қондырғыда ток көзі 1 болып шығу параметрлері бар түзеткіш – ИПН160/600-Ш қызмет етеді: кернеу $U=250$ В, ток күші $I=10$ А. Электролит - Na_2CO_3 кальцийлендірілген содасының 10% судағы ерітіндісі. Резервуардан 7 электролит берілісі 12Х18Н10Т тот баспайтын болаттан тұратын анод қойылған пішіні конустық шүмекке 4 сорғы 6 арқылы жүреді. Жұмыс ваннасынан 5тен электролит қайтадан резервуарға 7ге беріледі [82]. Үлгінің беріктендірілуі периодты қыздыру және сұйық электрод (электролит) пен катод бетінің (үлгі) арасында пайда болатын, плазма қабатындағы электр потенциалы есебінен оның сыртқы қабатын салқындату жолымен жүзеге асырылады. Электролиттік-плазмалық өндеу тәртібі анықталған: кернеу $U=200$ В, ток күші $I=10$ А, өндеу уақыты 4с, электролит ағынындағы шынықтыру уақыты 4 с, жалпы уақыт 2 мин.



1–көрек көзі; 2– басқару құрылғысы; 3– дайындаманы қондыру мен қысқыш механизм; 4– электролиттік-плазмалық өндеуге арналған шүмек; 5– жұмыс ваннасы; 6– сорғы; 7– электролит үшін резервуар.

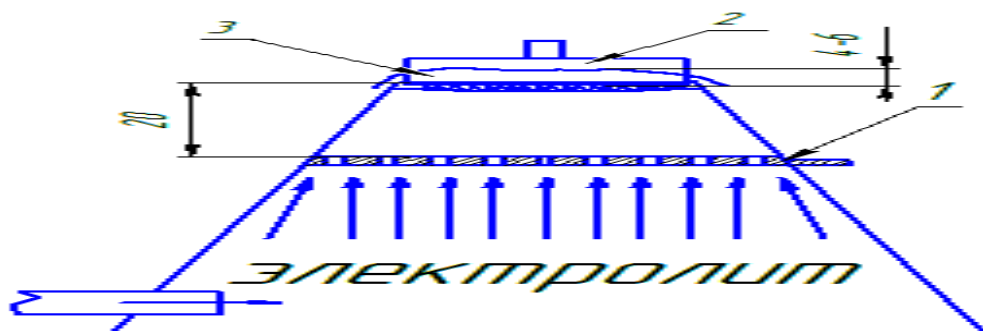
17- Сурет. Электролиттік-плазмалық өндеуге арналған қондырғы схемасы

Теріс зарядқа ие иондар 12Х18Н10Т тот баспайтын болатының анод саңылаулары арқылы өту барысында артық электрондарын береді, катиондар электролиттердің гидродинамикалық ағынымен еліктіріледі және үлгі беті – катодында комбинацияларын бұзады [82,Б220]. Электр энергиясының жылуға түрленуі негізінен бұйым-катод қыздырылатын бетінің плазмалық қабатында іске асады.

Дәстүрлі термиялық өндеу бойынша шынықтырумен цементтендіру қолданылатын. Бұндай термиялық өндеулер кейбір кемшіліктерге әкеледі: майысудың пайда болуы, аз көміртекті болаттың шытынауы және де жоғары өнімге, энергияға жұмсалған еңбек. Осы мәселеге байланысты альтернативті термиялық өндеу әдістерін іздеуді көздейміз. Термиялық өндеудің перспективалық әдістерінің бірі – электролиттік – плазмалық өндеу болып табылады.

Электродитті – плазма, екі қатты электродтар арасында электрлік разрядтармен еселенеді, сұйық электродқа батырылып, катодқа және анодқа (орныққан айлабұйым) кернеу бергенде пайда болады. Кернеуді көбейткенде катодтың бетінде жұқа, жарық палзмалы қабықша пайда болғанда одан тұрақты электр тоғы өтеді, яғни электрлік разряд болады. Плазмалық қабықшадан өтетін тоқ активті электродты 100°С қа шейін қыздыруды қамтамасыз етіп, материалдардың балқуына әкелуі мүмкін. Кернеуді өшіргенде катодты сұйық электродитпен суыту арқасында температураның күрт төмендеуі жүреді. Массивті денеге жылуды өткізу арқылы шынықтыру уақытын ұзартуға болады. Сондықтан бұйымдар беттерінің қажуға төзімділігін және беріктігін арттыру мақсатында электродитті – плазмалық разрядтарды термиялық өңдеуге және шынықтыруға қолданады. Қазіргі кезде көптеген зерттеулерге қарамастан газдық қабықшаның қалыңдығы туралы ортақ ойлар жоқ[83,82,Б221].

Плашканың мойынтірегінің торабын зерттеу үшін 10×10×20мм–лік дайындама алынды. Разряд ИПН160/600-III– тұрақты тоқ көзінен қоректенеді. Катод 2 (сурет-18) 20Х маркалы болаттан жасалып, 10% - ті сулы Na₂CO₃ электродитке – 2мм тереңдікке батырылған. Анод 1, диаметрі 50 мм қалыңдығы 2 мм дискілі фомасы бар, Ø4мм бұрғыланған тесіктері бар 12Х18Н10Т маркалы тоттанбайтын болаттан жасалған. Плазма 3 катод пен сұйық электродит арасында пайда болады.



18- Сурет. Болаттан жасалған дайындаманың электродитті – плазмалық шынығуы.

(Оң жақта өңдеу процесі, сол жақта сопло сызба нұсқасы)

Электродитті – плазмалық шынықтыруда болаттың құрылымы мен қасиетіне әсерін зерттеу келесі режимдерде өтті. (кесте-12).

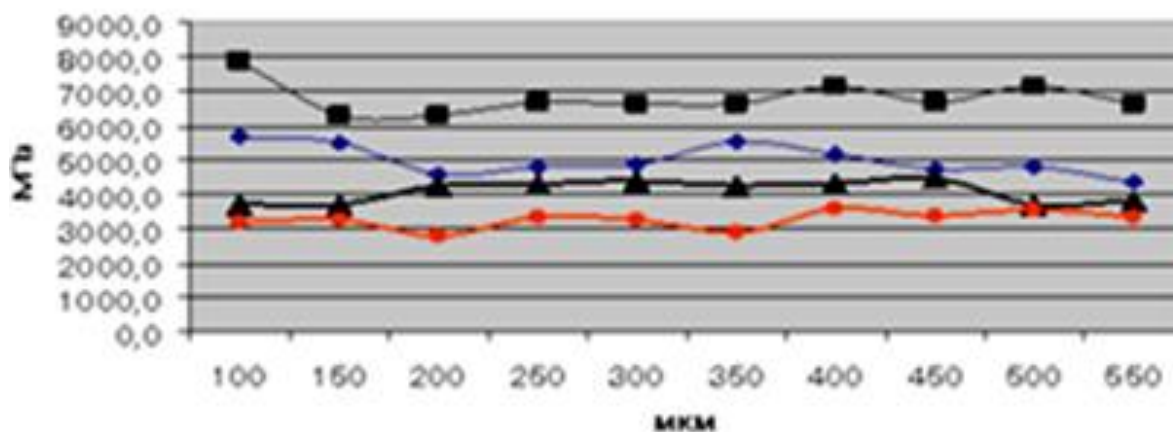
Кесте-12. Дайындамаларды өңдеу режимі

Өңдеу режимдері	Болат	Кернеу U, В	Ток күші I, А	Қыздыру уақыты, t, с	Шынықтыру уақыты, t, с	Циклде-р саны, n
Серия №1	20Х	200	10	2	2	30
Серия №2	20Х	200	10	4	4	30
Серия №3	20Х	200	10	15	Шексіз	30

Ескерту:бір серияда кем дегенде 3дайындама электродиттік – плазмалық өңдеуден өтті.

Электролиттік – плазмалық өндеудің режимдерінің микро- қаттылыққа әсерін қарастыру.

№1сериялы топтаманы электролиттік-плазмалық шынықтырудан өткізгеннен соң микро – қаттылық мәне 5500 МПа – ға тең (сурет-19).



1Қаттылық ■— 2 қаттылық ◆— 3қаттылық ▲— 4 қаттылық ●—

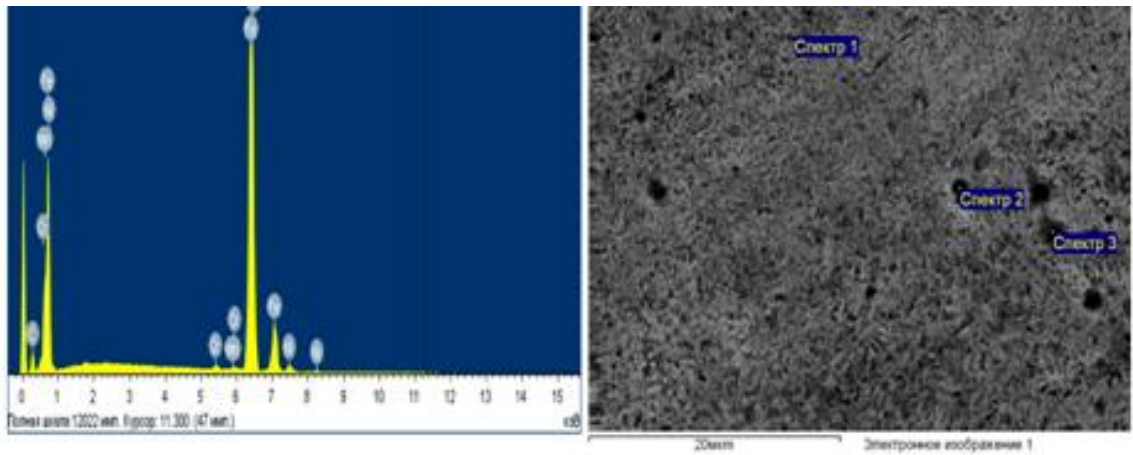
(1 ■- - өңделген үлгінің микроқаттылығы(№2 сериялы топтама); 2◆- өңделген үлгінің микро – қаттылығы (№1 сериялы топтама);3 ▲-- өңделген үлгінің микро – қаттылығы(№3сериялы топтама);4●-өңделмеген өнімнің микро – қаттылығы)

19 -Сурет. Электролиттік – плазмалық өндеудің режимдерінің микро – қаттылыққа әсері

Ал №2 сериялы топтаманы шынықтырғаннан соң максималды микро – қаттылық 8000МПа алынды. Жалпы микро – қаттылықтың орташа мәні 4500МПа – ға тен болуына қарамастан, №3 сериялы топтаманы ұзақ қыздырғандықтан оның микро – қаттылық шамасы 3200МПа дейін түсті. Бұл жағдай №3 сериялы топтаманың қыздырылған аумағы мен уақыты үлкен болуына байланысты. Сонымен, электролиттік – плазмалық өңдеу түрі дайындамаларға кешендік әсер бере алады. Бұрғыны оптималды өңдеу режимдерінде қаттылығы 8000МПа жететін локальді аумақтарды алуға мүмкіндік береді.

Электролиттік- пазмалық өңдеу, жоғары - концентратталған энергия көзі көмегімен металлдардың беттерін өңдейтін танымал әдістерінің альтернативасы болып табылады. Ол жабдықтарының қарапайымдылығымен және де энергетикалық тиімділігімен сипатталғандықтан өнеркәсіптік қолданысқа ұсынылады.

Өңделінген беттің растрлық элементтік талдауы (сурет-20) үлгіні электролиттік-плазмалық өңдеу кезінде суарумен қатар металдың беткі қабатының химиялық түрленуі іске асады [84]. Өңделінетін беттер көміртек иондарымен цементтеледі және электролитте елеулі қысқа уақытта суарылады.



20- Сурет. 20X ЭПӨ-даболатбеттерініңрастрлікэлементтікталдау

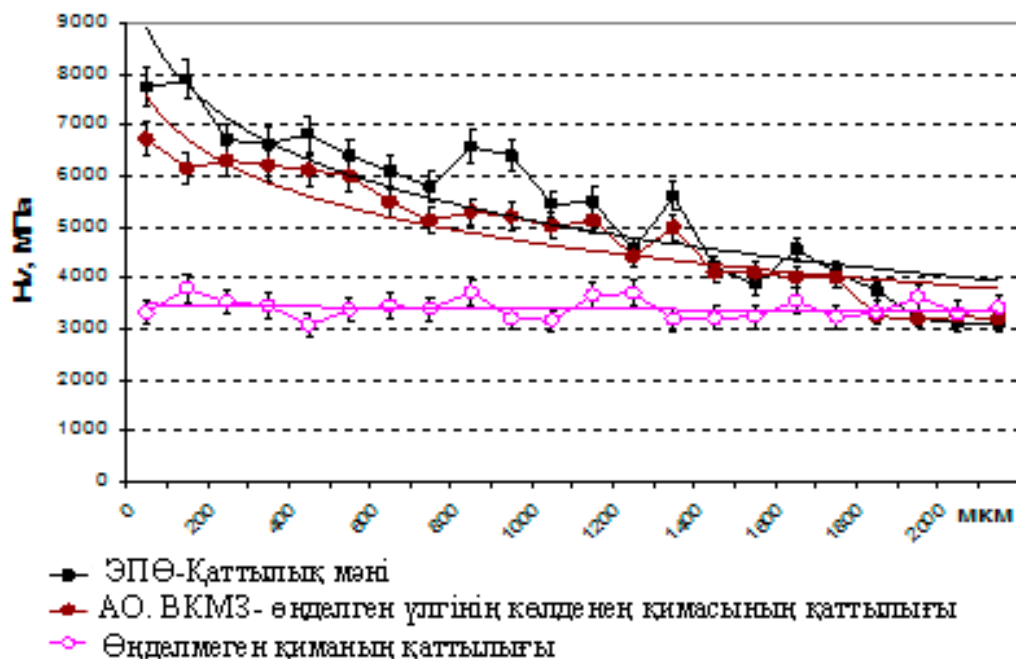
Бастапқыкүйінеқатыстыкөміртектіңпайыздыққұрамынұлғайту (кесте-13), электрлікгаздық разряд плазмалыққабатында Na_2CO_3 кальций қосылған сода сулыерітіндісіненэлектртоғыныңөткенуақытындакөміртектіңзарядталғаниондар ыпайдаболады [85],жәнеүлгініңбеткіқабатынкөміртектендіреді.

Кесте 13 – Үлгі ЭПТ сапалықжәнесандықталдауы

Спектр	C	Na	Si	Cr	Mn	Fe	Ni	Қорытынды
Спектр 1	0,56	-	-	0.66	0.48	95,73	2.57	100.00
Спектр 2	0,69	0.38	-	0.66	-	95,75	2.52	100.00
Спектр 3	0,71	-	0.31	0.54	0.54	95,48	2.42	100.00

Барлықнәтижелерүлестік%

Болат 20X үлгілерінің электролиттік-плазмалық өңделуі беткі қабатын қаттылығын арттыруға алып келеді (Сурет-21).



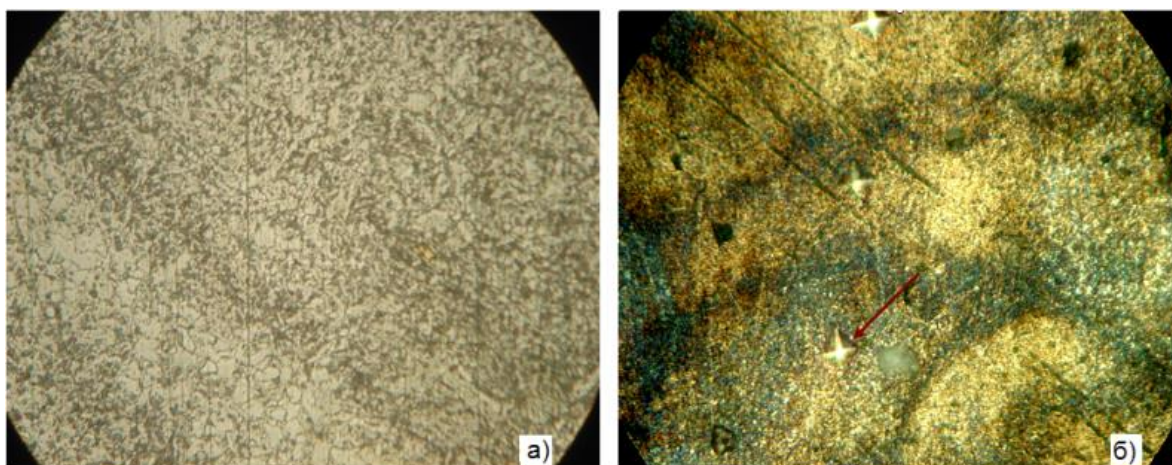
21- Сурет. 20X болатүлгініңкөлдененқимасыбойыншаөзгеруі

Беткі қабаттан ажырау шамасына қарай микро қаттылық төмендейді, және 1600...1800 мкм тереңдікте бастапқы күйдегі микро қаттылық мәні деңгейіне дейін шығады. ЭПО кейін жүрекше неғұрлым иілгіш болады және 46-50 HRC аспайтын қаттылыққа ие. Бастапқы перлитті-феритті құрылым микро қаттылығының мәні орташа шамамен $Hv=3271$ МПа құрайды. Бастапқы күйге қатысты микро қаттылық ЭПО кейін 2 есеге дейін артады [86].

Төмен көміртекті қосындыланған болат бұйымдарының электролиттік-плазмалық өңдеу технологиясының инновациялық талдауы энергия шығындарының төмендеуін және дәстүрлі технологияға қатысты еңбек сыйымдылығын 30-40% азаюын болжауға мүмкіндік берді.

Электролиттік-плазмалық өңдеудің негізгі басымдылықтары: күрделі пішінді беріктендіру мүмкіндігі, беріктендіру алдында беткі қабаттарды арнайы даярлау қажеттілігінің жоқ болуы; экологиялық қауіпсіздігі (арнайы тазалау жарақтарын пайдалану талап етілмейді), тағы басқа артықшылықтардың болуы. Плазмамен жергілікті өңдеу бұйымды 200...300°C температурадан жоғары ауқымды қыздыра алмайды. Электролиттік-плазмалық өңдеумен қалыңдығы 1ден 2,0 мм беріктенген қабатты алады [87].

Бастама үлгінің микроқұрылымы біртекті перлитті-ферритті құрылымды көрсетеді (Сурет-22,а). Үлгінің сыртқы қабатын үлкен жылдамдықпен электролиттік-плазмалық қыздыру кезінде және сұйық элетролитпен кезекті тойтарудан және салқын болып қалған, негізгі металл көлеміне ұсақ түйірлі аустениттік құрылым қалыптасады, ал бұдан өз кезегінде ұсақкристалды мартенсит қалыптасады. Үлгінің сыртқы қабатының беріктетілген микроқұрылымы ерімейтін карбидтердің дисперстік қосылыстары бар ұсақ түйірлі мартенситті-бейнитті құрылымды көрсетеді (Сурет-22, б).

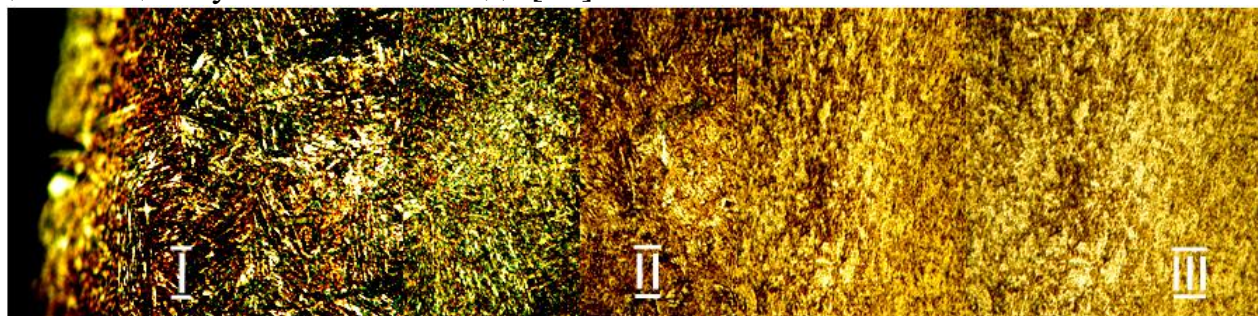


а – бастапқы құрылымы, б – электролиттік-плазмалық өңдеуден кейін (көрсеткішпен микроқаттылықты өлшеу іздері белгіленген)

22- Сурет. 20Х болатының микроқұрылымы, $\times 800$

Электролиттік-плазмалық өңделген үлгінің көлденең қимасында 3 аймақ бақыланады (сурет-23). Микроқұрылым (аймақ I) плазманың кезеңдік жоғары

температура әсерінен құрылымдық-фазалық өзгеру жүзеге асқан қоюланған қабаттың болуымен сипатталады[88].

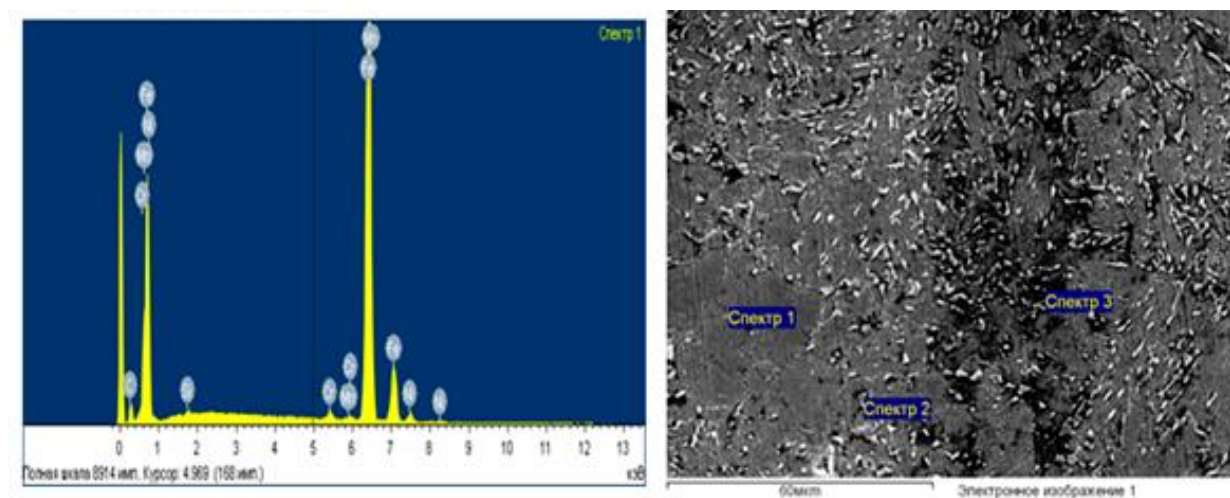


23- Сурет. 20X болатының көлденең қимасындағы микроқұрылымы, ×800

Қоюланған қабаттың астында бастапқы перлитті-ферритті (аймақ 3) құрылымға ауысатын, мартенситтік топтың ұсақ түйірлі жұқа қатпарлы құрылымы байқалады (аймақ 2).

20kV жылдамдатқыш кернеулерде JSM-6390LV электронды микроскопта орындалған бастапқы жағдайдағы үлгінің беткі бөлігінің растрлы микробейнелері (сурет-23) келтірілген[88.Б.103].

Беткі бөлікті өңдеуге дейін 8000 есе үлкейтіп көрсеткен кезде, перлит-ферритті негіздегі ұсақ дисперсті қосындылайтын элементтердің біртегіс қосындылары бақыланады. Ол дегеніміз, электрлі шлақты құйылу арқылы орындалатын болаттарға тән болып келеді. Үлгінің химиялық құрамын анықтау үшін, өңдеу шараларына дейін ЭДС талдаулары жүргізілді, ол талдаулар «Спектр 1», «Спектр 2» және «Спектр 3» суреттерінде белгіленген.



24- Сурет. 20X бастапқы болатының беткі қабатының растрлы элементті талдауы

Бастапқы үлгінің элементті зерттеу мәндер(кесте—14) келтірілген.

Кесте-14 - Бастапқы үлгінің сапалы және көлемді талдауы

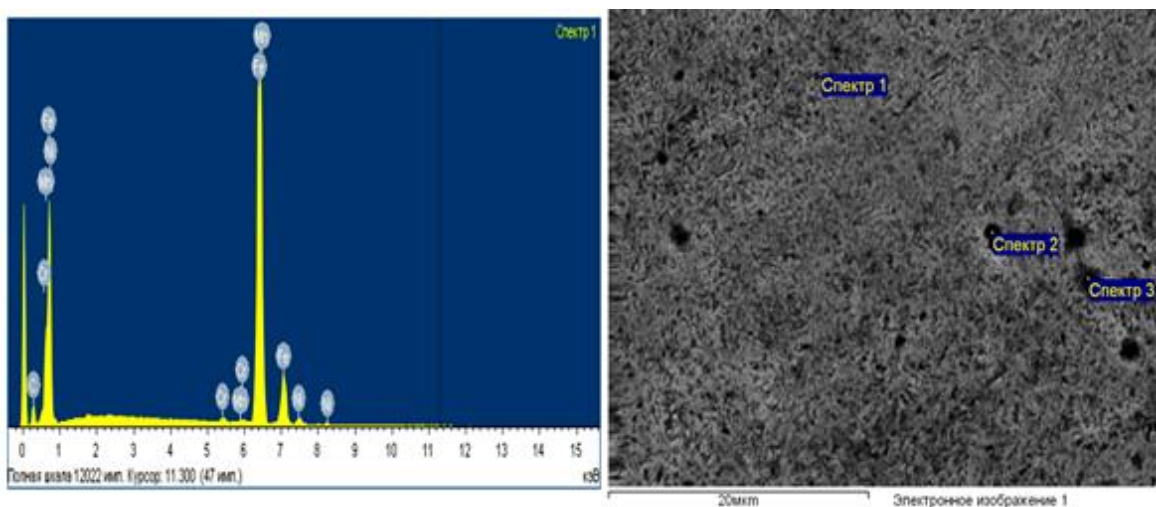
Спектр	C	Na	Si	Cr	Mn	Fe	Ni	Итог
Спектр 1	0,16	-	-	0,66	0,48	96,13	2,57	100,00
Спектр 2	0,19	0,38	-	0,66	-	96,35	2,52	100,00

Спектр 3	0,17	-	0,31	0,54	0,54	96,02	2,42	100,00
----------	------	---	------	------	------	-------	------	--------

Барлық нәтижелер салмақтық%

Біздің жүргізген тәжірибелік жұмыстарымызда, болат үлгілері қолданылды. Электролит ретінде кальцийленген соданың сулы ерітіндісі қолданылды. Өндеу режимі: қыздыру уақыты 2 с, үзіліс 4 с, жалпы уақыт – 2 минут, $I = 10-40$ А, $U=300$ В (анод – болат 20Х). Жылдам сууы салдарынан электролит ағынындағы металл құрылымы көбінесе мартенситті құрамдастардан тұрады.

Өнделген үлгінің сыртқы бетінің сапалық және сандық құрам талдауы үш нүктеден анықталған (сурет-25).



25- Сурет. Өнделген үлгінің сыртқы бетінің растрлық элементтік талдауы

Көміртектің бастапқы күйінен қарағанда проценттік мөлшерінің артуы (кесте-15), Na_2CO_3 кальцийлендірілген содасының сулы ерітіндісінен тұратын электр газдық разрядты плазмалық қабатында, электр тоқының ағылуы кезінде үлгі бетін көміртекпен қанықтыратын, көміртектің зарядталған иондарының [89,88.Б-104] қалыптасуымен түсіндіріледі.

Кесте-15. Өнделген үлгінің сапалық және сандық талдауы

Спектр	C	Na	Si	Cr	Mn	Fe	Ni	Итог
Спектр 1	0,56	-	-	0,66	0,48	95,73	2,57	100,00
Спектр 2	0,69	0,38	-	0,66	-	95,75	2,52	100,00
Спектр 3	0,71	-	0,31	0,54	0,54	95,48	2,42	100,00

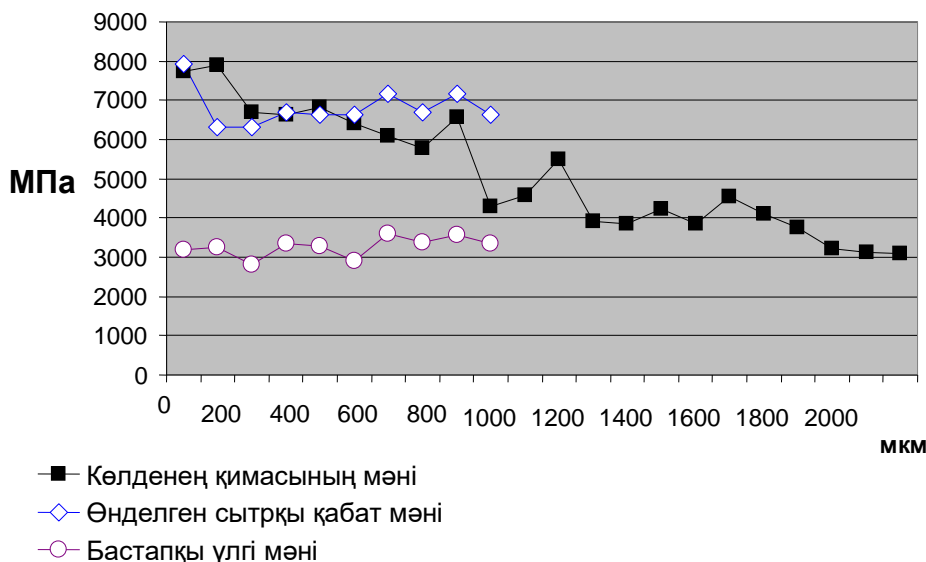
Барлық нәтижелер салмақтық %

Өнделген сыртқы қабаттың растрлық элементтік талдауы, үлгіні электролитті-плазмалық қыздыру кезінде шынықтырумен қатар, металдың сыртқы қабатында химиялық модификация жүретіндігін көрсетті.

Электролиттік-плазмалық өндеу қалыңдығы 1000...1700мкм беріктетілген қабат алуға болатынын анықтады (сурет-26). Микроқаттылық беріктетілген аймақтың көлденең қимасында – мартенситтік құрылымда

6500...7000 МПа құрады. Электролиттік-плазмалық өндеуден кейін үлгі сыртқы қабатының микроқаттылығын өлшеу нәтижесі орта есеппен 7000 МПа құрайды (сурет-26). Өнделген сыртқы қабаттан ара қашықтық артқанда, микроқаттылық бастапқы күйге дейін біркелкі түсіп, орта есеппен 3000 МПа құрайды[88.б-104].

Микроқаттылықтың мәні



26 -Сурет. Микроқаттылықтың электролиттік-плазмалық өнделген үлгі көлденең қимасының тереңдігіне тәуелділігі

Осылайша, жүргізілген талдау негізінде, бұрғы қашау бөлшектерінің сыртқы қабаттарының беріктетілуінің ең тиімді әдісі электролиттік-плазмалық өндеу екені анықталды. Бұл әдістің артықшылығы: автошынықтырудың үлкен жылдамдықтарындағы аз энергия шығыны, күрделі пішінді бөлшектердің сыртқы қабатын жергілікті өндеу мүмкіндігі, қарқынды жүктеме шартында процессті іске асыру жеңілділігі.

Электролиттік-плазмалық өндеу сыртқы қабаттарды легірлеуші элементтермен түрлендіреді, сыртқы қабатта мартенситті құрылымның пайда болуына болысады. Микроқаттылықтың бастапқы күйінен 1000...1700 мкм тереңдігінде, 1,5-2 есе артқаны электролиттік-плазмалық өндеу тәсілінің тиімділігін дәлелдейді.

Машина бөлшектерінің құрылымдық материалдарының пайдалану қасиеттерін арттыру тозуға, жемірілуге төзімділік сияқты сипаттамалардың айтарлықтай жақсартуынсыз мүмкін емес. Қарқынды байланыс жүктемелер астында жұмыс істейтін бөлшектер сенімділігіне жоғары талаптар олардың химиялық құрамы мен құрылымын өзгерту арқылы арнайы қасиеттері бар беткі қабатын құру кезінде орындалуы мүмкін. Көп жағдайларда, мұндай талаптарды үстіңгі қабаттар жоғары тұрақтылық деңгейінде қанағаттандырады. Қазіргі уақытта, беткі қабатты түрлендіру үшін жоғары шоғырланған энергия көздерін термиялық өндеу (жиі кездесетін түрі – лазер) соңғы кездерде жиі

қолданылады. Алайда, лазермен өндеудің бірнеше кемшіліктері бар: жоғары құны және технологиялық құрал-жабдықтардың ірі габариті, шашыраңқы лазерлік сәулеленуден қызметкерлерді қорғау үшін іс-шаралар ұйымдастыру. Осыған байланысты, үстіңгі қабатты орнықтырудың баламалы әдістерін іздеу өзекті шешім болып табылады. Перспективті әдістердің бірі электролиттік-плазмалық өндеу болып табылады [90,91].

Электролиттік -плазмалық өндеу әсерін зерттеу үшін біз 20X (0,16-0,18% С; 3,3% Ni; 0,9% Cr; 0,51% Mo; 0,44% Mn; 0,34% Si; 0,05% Әл; 0,008% S; 0,012% P; 0,015% N; 0,01% O; 0,01% H) төмен көміртекті қоспалы болатты таңдадық. Болат 20X (ГОСТ 4543-71). Аталған болат жоғары беріктік, тұтқырлық талаптары қойылатын жауапты бөлшектер және жоғары діріл мен динамикалық жүктемелер астында жұмыс істейтін бөлшектер үшін цементтелген және жақсартылған күйде қолданылады. Болатты -70-ден +450 0C дейін температурада қолдануға болады. Көміртегі, хром, молибден, марганец, кремний сияқты қоспалау элементтері беріктікті арттырады. Никель соққы тұтқырлығындағы беріктікті қамтамасыз етеді, молибден болаттың беріктігі мен жылуға төзімділігін қамтамасыз етеді [92].

Электролиттік-плазмалық өндеу қалыңдығы 1400-1700мкм орнықтырылған қабатқа қол жеткізуге мүмкіндік беретіні айқындалды. Қара қабат астында орналасқан аустениттік-мартенситтік құрылым, яғни орнықтырылған зонаның микроқаттылығы - 6500-7200 МПа. Беткі қабаттан алшақтаған сайын микроқаттылығы орташа есепте 3000 МПа құрайтын бастапқы жағдайға дейін төмендейді. Өңделген үлгінің бетіндегі микроқаттылықтың өлшеу нәтижесі оның негізімен салыстырғанда көтерілгені мен өңделген беткі қабаттың орташа 7000 МПа құрайтын біркелкі үлестірімі жөнінде мәлімдейді.

Микроқаттылықтың бастапқы күйінен 2-2,5 есе өсуі электролиттік-плазмалық өндеуден соң беріктіктің артқанын көрсетеді. Бұл әдістің артықшылықтары: тау-кен қондырғылары бөлшектері үшін ,еңбек және электр шығындарын аз талап ететін және экологиялық таза, электролиттік –плазмалық өндеу технологиясы болып табылады [93].

Осылайша, талдау негізінде бұрғылау қашау бөлшектерінің бетін орнықтырудың ең тиімді әдісі беткі қабатын өзгертуге және металл қаттылығын арттыруға мүмкіндік беретін электролиттік-плазмалық өндеу екенін анықталды.

Термоөндеу әдістерінің бірі болып табылатын электролиттік-плазмалық өндеу жоғары концентратталған энергия көзін пайдалану арқылы металдың бетін беріктендірудің балама әдісі болып табылады. Бұл әдістің артықшылықтары: шынықтырудың жоғары жылдамдықтары кезіндегі энергияны тиімді жұмсау, қарқынды жүктеме астында жұмыс істейтін бөлшектердің бетін жергілікті өндеу, әсіресе күрделі формалы ірі габаритті бөлшектерді өндеу. Жауапты бөлшектер жұмысының ұзақ мерзімділігі ,абразивті және соққы –абразивті үйкеліске төзімділігі газды цементация және одан кейінгі шынықтырумен қамтамасыз етілген [94].

3.2. 20X болаттан жасалған бұрғы құрал-жабыдығын электролиттік-плазмалық өңдеу нәтижелері

Электролиттік-плазмалы өңдеу шаралары, термиялы өңдеудің электрлі химиялық процесі мен плазмалы ағыстар көмегімен бөлшектің (бұйымның) бетіне салмақ түсіру (жабын жабу) процестері секілді көрінеді. Плазмалы ағыстар дегеніміз - ол 1000 В дейінгі жоғарғы потенциалдарда жұмыс жасайтын жұмысшы электрод аймағындағы электролиттің сулы ерітіндісіндегі электрлі разрядты құбылыстармен үйлесімді түрде жекелей немесе толық иондалған газ. Сұйық электролитке батырылған, екі қатты электродтар арасындағы электрлік разрядтармен генерацияланатын электролитті плазма, катод (беріктендірілетін бұйым) пен анодқа тұрақты кернеуді қосу кезінде пайда болады. Катодтың беткі бөлігіндегі кернеуді жоғарылату барысында жұқа біртегіс жарқырайтын плазмалы қабықша түзіледі және сол қабықша арқылы стационарлы электрлік тоқ ағады, яғни электрлік разряд іске асады. Плазмалы қабықша арқылы ағып өтетін электрлі тоқ, белсенді электродтың 100⁰С-тан оның материалының балқу темперасына дейін қыздырылуын қамтамасыздандыра алады. Кернеуді өшірген кезде, катодтың сұйық электролитпен суытылуы есебінен температураның күрт төмендеуі байқалады [95]. Шынықтырылу жылдамдығы жылуды массивті төселмеге ығыстыру есебінен жоғарылайды. Сол себепті, электролиттік-плазмалы разрядтарды, беткі бөліктің қаттылығы мен тозуға төзімділігін жоғарылататын, бөлшекті термиялық өңдеу мен шынықтыру мақсатында оны қыздыру үшін қолдануға болады. Болат материалдардың химиялық құрамы, жақсы коррозияға төзімділігі, деформацияланатын, беріктігі, температураның ауқымы кең, түрде қолданылады. Жүргізілген көптеген зерттеу шараларына қарамастан осы уақытқа дейінгі газ қабықшасының қалыңдығы, разрядтың табиғаты мен оның негізгі параметрлері жайлы бірыңғай пікір жоқ [96].

3.2.1 Бұрғы құрал-жабыдығын электролиттік-плазмалық өңдеу үрдісін моделдеу

Электролиттік-плазмалық өңдеу шараларының тиімді шарттарын сұрыптау үшін толық көп факторлы тәжірибе жоспары іске асырылған. Беткі бөлікті өңдеу шараларының берілген тәсілдеріне қажетті мәндердің барлығы (кесте-16) толық келтірілген. Көп факторлы тәжірибелік шаралар, тәжірибешіге қажетті аймақтарды шектен шығармауға мүмкіндік береді және тәуелсіз ауыспалылардың барлық мүмкін болатын мәндерінде физикалық бейненің көрнекілігін көрсетеді. Бөлшектердің қыздырылуы, олардың көлеміндегі температураның біртексіз таралуын білдіреді [97].

Көптеген жағдайларда қима бойынша мұндай біртексіздік, құйма өндірісіндегі түрлі технологиялық процестерді, қысыммен ыстық өңдеу процестерін, пісіріп-жабыстыру, еріту, қайнату процестерін жүргізу барысында, сонымен қатар электрлі байланыс, электрлі лазерлі, электрлі сәулелі және де электрлі-плазмалы қыздыру шараларын қарапайым және жылдам түрде қолдану кезінде сипатты болып келеді [98].

Кесте -16. Тәжірибелерді жоспарлау матрицасы

Өңдеу Әдісі	tқыз., с	tсуыт., с	n, рет саны	U, В	T қыз., °C	HRC, орт	Ra, Мкм
Өңдеусіз	-	-	-	-	-	17	1,6
Электролиттік-плазмалық өңдеу	1	1	20	180	190	22	1,6
	1	2	25	190	410	25	1,2
	2	1	30	200	820	28	1,3
	2	2	35	220	825	35	1,2
	3	1	40	180	880	40	1,4
	3	2	20	190	893	42	1,5
	3	3	25	200	896	45	1,1
	4	1	30	220	910	49	1,0
	4	2	35	180	940	54	1,9
	4	3	30	190	960	58	1,8
	4	4	20	200	965	64	1,8
	5	1	25	220	970	59	1,9
	5	2	30	180	975	58	1,8
	5	3	35	190	980	56	1,0
	6	2	25	180	1100	52	1,3
	6	4	30	190	1120	50	1,0
	6	6	35	200	1125	49	1,2
	7	2	40	220	1130	48	1,1
	7	4	20	180	1240	46	1,3
	7	6	25	190	1245	45	1,4
	8	2	30	200	1250	45	1,9
	8	4	35	220	1260	44	1,3
	8	6	40	180	1270	42	1,2
	9	2	25	200	1385	42	1,4
9	4	30	220	1390	40	1,3	
9	6	35	180	1400	39	1,2	
10	2	20	200	1415	35	1,9	
10	4	25	220	1420	34	1,4	
10	6	30	180	1450	32	1,6	

Түрлі сыртқы шарттарға қарамастан, құрылым түзілімі, барлық жағдайда да термиялық кезеңге байланысты болып келеді. Ол термиялық кезең, соңғы құрылым мен үлгі қасиетін алумен қамтамасыздандырады және беріктендірілген соңғы құрылымы бар тиімді қаттылық пен кедір-бұдырлықтың құрылу заңдылығының жалпы оңтайландыру параметрлерін орнату мүмкіндігін береді.

Алынған мәліметтер орташа мәнге келтірілген. Сынақтардың тәжірибедегі қорытынды сатысындағы орташаланған мәндері және сәйкес кеңейтілген матрицада(кесте-17) көрсетілген.

Кесте-17. Электродиттік-плазмалық өндеудегі түрленбелі факторлар

Тәжірибе жоспары ндағы белгілеу	Физикалық факторлар	Факторлар дәрежесі	
		Минимумды	Максимумды
X1	Плазма температурасынан қызу уақыты, с	1	10
X2	Электродит ташынықтыру уақыты, с	1	10
X3	Кезеңдік өндеу саны	20	40
X4	Тұрақты ток кернеуі, В	180	220

Бұл кестеден электродиттік-плазмалық өндеу әдісі, беткі қабаттардың химиялы-термиялық өндеу әдісінмен салыстырғанда жылдам әрі тиімді тәсіл екендігін көруге болады [99].

Қазіргі уақыттағы өзара байланыста зерттеліп белгіленген беріктік сапасының көрсеткіштеріне ерітілген судағы Na_2CO_3 кальцийлендірілген соданың 10%- электродитті қолдануы кезінде электрлік, технологиялық матрица әсері (кестеде-18) көрсетілген. Берілген матрицаның анализі бойынша барлық қаралған ЭПӨ факторларының режимдері болатын беттік беріктік көтерілуінің сапасына әсерін тигізетінін көруге болады. Бірақ негізгі технологиялық параметрлер мысалы беріктік қалыңдығы, микроқаттылық, қажуға төзімділіктердің бәрі – қыздыру уақытына, шынықтыру уақытына, кезеңдер санына және ток кернеуін анықтайтын қыздыру температурасына тәуелді. Кезеңдер саны белгілі бір қалыңдықта болатын қызғанын анықтайды, сонымен қатар алып тастауға болатын жылу өткізгіштілігімен теңгеріледі.

Қыздыру уақыты фазалық өзгерудің негізгі параметрі, 20X болат үшін $840-860^\circ\text{C}$ -қа тең болып табылады. Осылайша біз ЭПӨ-дегі болаттың сапасының беріктігін көтерілуін көрсететін негізгі факторларын анықтадық. қыздыру уақыты, шынықтыру уақыты және токтың кернеуі. Алдын-ала қыздыру температурасының қыздыру уақытына тәуелділігін анықтап, (19) формуламен көрсетілген суытуын және кернеуін бекіттік :

$$T = 4,5xt_{\text{кыз}}^2 + 4.8xU - 18xt_{\text{суыт}}, \quad (19)$$

Мұнда T- болаттың қыздыру температурасы, $t_{\text{кыз}}$ – қыздыру температурсы, $t_{\text{суыт}}$ – электродит ағынындағы суыту уақыты, U – кернеу.

Кесте-18. Бұрғы қашау болатының беріктігін көтеру сапасы көрсеткішіне ЭПӨ әсер ету матрицасы

ЭПӨ режимдері	Беріктігін көтеру сапалық көрсеткіштері					
	Физика-механикалық					
	Қалыңдығы, x 100	Микроқаттылық, x 800	Қажуға Төзімділігі, x 100	Фазалық құрамы, x100	Элементтік құрамы, x100	Кедір-бұдырлық, x 100
Технологиялық						
Қыздыруу қыты, с						
Шынықтыруу қыты, с						
Кезеңдерсаны, п						
Өлшемдер, V(мм³)						
Температура, °С						
Электрлік						
Кернеу, В						
Ток күші, А						

Электролит – 10% Na₂CO₃

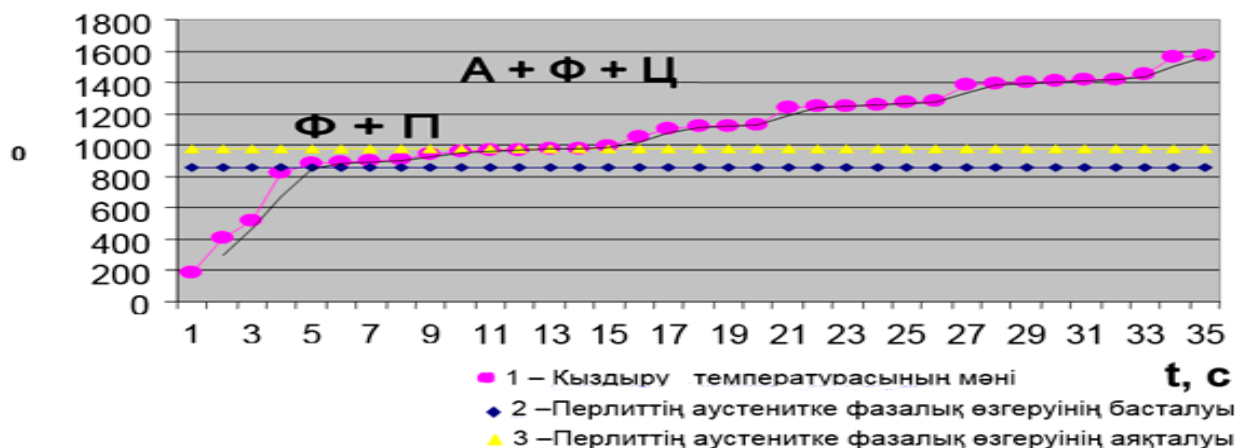
Нақты уақытта, ЭПӨ режимдерінің беріктік сапасына әсері тек қана қажуға төзімді беріктігі нығайтылған беттерді алуға ғана емес, сонымен қатар болаттың беріктігін нығайтудың ЭПӨ технологиялық үрдісінің өнімділігін біршама арттыруға және өндіріске кең көлемді енгізілуі үшін басқарылатындай болып табылады[99,б.492].

Өңдеудің аралық уақыттарын анықтауға мүмкіндік беретін фазалық өзгерудің басталу үрдісінің температурасы (эвтектоидқа дейінгі болат үшін $Ac_1+50-60^{\circ}C$) және фазалық өзгерудің аяқталу температурасы (эвтектоидқа дейінгі болат үшін $Ac_3 + 50-60^{\circ}C$) белгілі (кесте-19 МЕМСТ4543-71) [100]. ЭПӨ үшін циклдік қыздыруда болаттың өзгеруінің жеткілікті мәндері 4 секунд қыздыруда және 4 секунд шынықтыруда 20 циклге сәйкес келеді.

Кесте-19. 20Х болаты үшін межелі нүктелердің температуралары, °С

Ac ₁	Ac ₃	Ar ₃	Ar ₁	M _H (105)
800	840	400	350	336

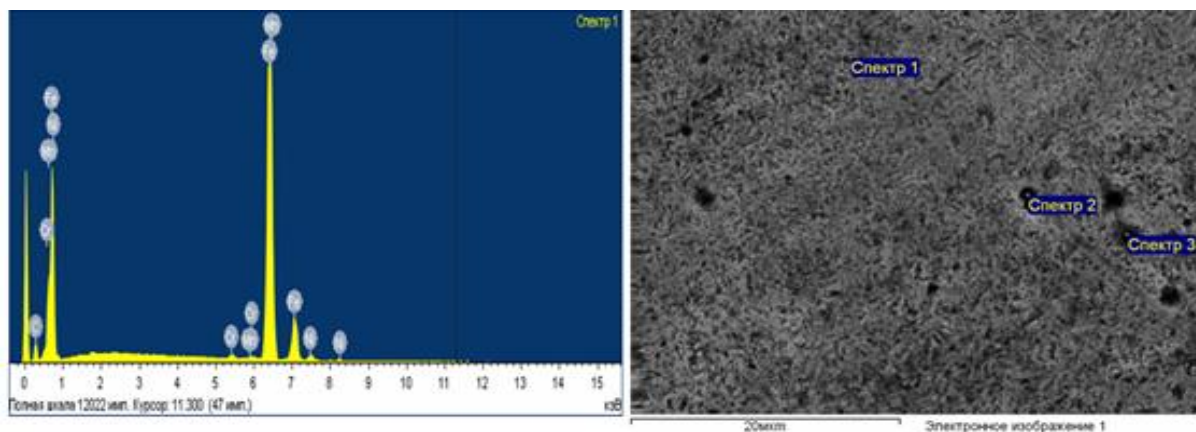
Болат 20Х Ac₁межелі нүктесінде фазалық өзгеруінің заңдылықтары көрсетілген.



27- Сурет. Болат 20Х циклдік электролиттік-плазмалық өндеу кезіндегі перлиттің аустенитке өзгеруінің басталу және аяқталу температуралары

Осылайша, жоғарыда айтылған қыздыру түрлеріндегі сияқты артық қалған энергия өзгеруге қажетті ионданғанда аустениттің пайда болу үрдісі болатты термоциклдік қыздырғанда, салыстырмалы түрде тез жүреді. 20Х болатының ферриттің аустенитке қайта кристалдану сызығынан (900°С) жоғарыда аустенит, феррит және цементит құрылымдары құралады. Осы кезде аустениттің түйіршіктері құрамындағы көміртегі бойынша бірдей емес – болатты аса қыздыру. Аустенитті-цементитті құрылымда цементитті қосу аустениттің түйіршіктерінің өсуін біршама баяулататынын айта кеткен жөн. Бұл жайтты келесі құрылымның құрылуын талдау кезінде ескеру қажет.

Электролиттік-плазмалық өңделген үлгінің бетінің құрамының сапалық және мөлшерлік талдауын үш нүктеде анықтадық (сурет-28).



28 -Сурет. 20Х болатының ЭПӨ-ден кейінгі бетінің растрлік элементтік талдауы

Бастапқы күйіне қатысты көміртегінің пайыздық мөлшерінің (кесте-20) өсуі плазмалық қабаттағы Na_2CO_3 кальцийлендірілген соданың судағы ерітіндісінен құралған электрлік газдық разрядтан электрлік ток өткенде, үлгінің бетін қанықтыратын зарядталған көміртегі иондары [100,99.6493] пайда болады.

Кесте-20. Өңделген үлгінің сапалық және мөлшерлік талдауы

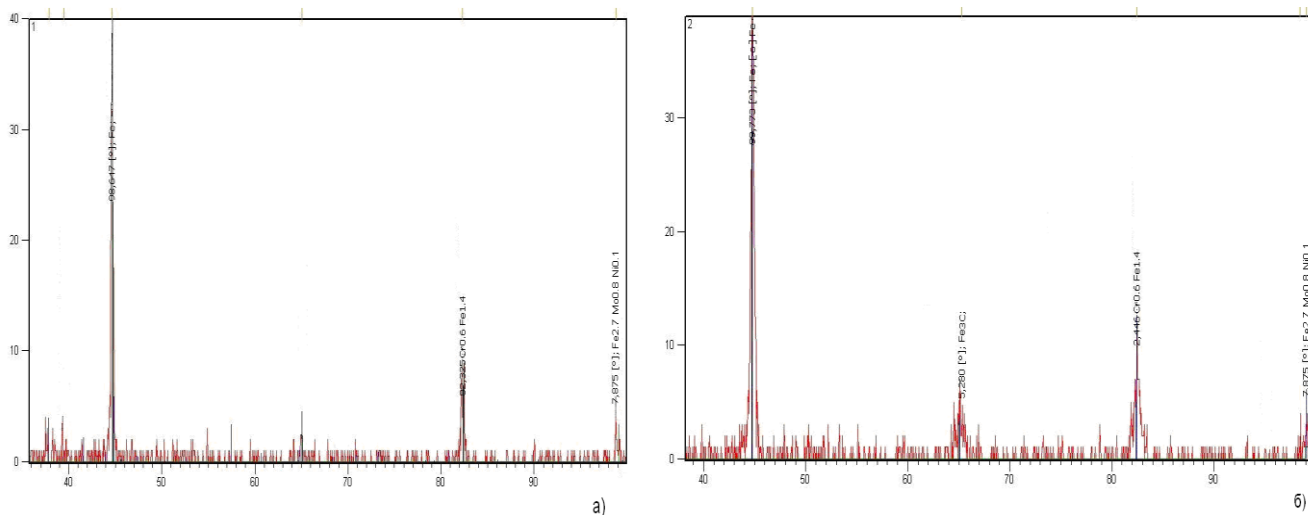
Спектр№	C	Na	Si	Cr	Mn	Fe	Ni	Қорытынды
Спектр 1	0,56	-	-	0.66	0.48	95,73	2.57	100.00
Спектр 2	0,69	0.38	-	0.66	-	95,75	2.52	100.00
Спектр 3	0,71	-	0.31	0.54	0.54	95,48	2.42	100.00

Барлық нәтижелер өлшемдік %

Өңделген бетті расторлік элементтік талдау үлгіні электролиттік-плазмалық қыздыру кезінде шынығумен қатар металдың беткі қабатының химиялық модификациялануы жүретінін көрсетті.

20X болатты дайындамалардың рентген – құрылымды анализ - жеткізілім жағдайында (суретті-29 қара) және ЭПӨ – дан кейін Fe негізіндегі α – фазаларды, $\text{Cr}_{0.6}\text{Fe}_{1.4}$ – фаза сызықтарын, және де $\text{Fe}_{2.7}\text{Mo}_{0.8}\text{Ni}_{0.1}$ – фаза сызықтарынан аңғарлады.

Бастапқы жағдайынан (сурет-29а а) қарағанда, ЭПӨ- дан кейін дифракционды сызықтардың қарқынды үлкеюі байқалады (сурет-29б). Термиялық өңдеуден кейінгі қауырттылық болатынын аңғартады. 20X болатының фазалық құрылымы(кесте-21) көрсетілген.



а) – бастапқы жағдайында, б) – ЭПӨ –дан кейін
29- Сурет. 20X болатының рентгендік дифрактограммасы

Электрлі шлакты балқымаларды қою немесе орнату кезінде, сонымен қатар электролиттік-плазмалы өңдеу шараларынан кейін болаттың құрылымдық-фазалы жағдайын зерттеу нәтижелерінен келесідей қорытындылар жасауға мүмкіндік береді:

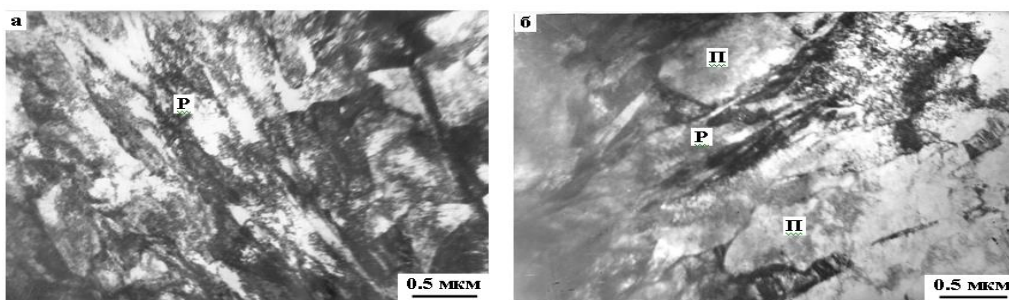
Кесте-21.20X болатының фазалық құрылымы көрсетілген

Өңдеу түрі	Фазалық құрылымы	2Theta [deg]	d [Å]	h	k	l	I [%]
ЭПӨ – дан кейін	α-фаза	44,677	2,02670	1	1	0	100
		65,028	1,43310	2	0	0	11,5
		82,344	1,17010	2	1	1	17,4
	Cr _{0.6} Fe _{1.4}	63.8452	1.456730	3	0	2	17
		67.0481	1.394710	2	0	5	13
		61.7392	1.501270	2	1	3	21
	Fe _{2,7} Mo _{0,8} Ni _{0,1}	96.9814	1.028620	4	0	0	6
		98.1489	1.019480	4	0	1	1
		99.4724	1.009440	2	2	4	20
	Fe ₃ C;	44,75	2,0235	1	1	2	10,8
		65,1078	1,431500	0	0	2	10
		82,444	1,1689	2	4	0	37
		99,0643	1,0125	2	4	2	14

Бізге белгілі, шынықтыруда мартенситті айналу (А→М) аяғына дейін жүрмейді және де болатта ыдырау заттары қалады. ЭПӨ – дан кейін Fe негізіндегі α – фазаларды, Cr_{0.6} Fe_{1.4} – фаза сызықтарын және де Fe_{2,7} Mo_{0,8} Ni_{0,1} – фаза сызықтарының болуы мартенситті шынықтырылуын көрсетеді. Курдюмова-Закс теориясына сәйкес [99.6493], мартенситті кристалл пайда болу кезінде жазықтық ауытқуында пайда болады. Кернеу басты рольді атқарады. Қуат көздері: қима бойынша температура градиенттері; химиялық құрамының біртекті еместілігі; құрылымдық жетілмегендік; кеңістіктегі кристаллдардың әр түрлі орналасуы; аустенит пен мартенситтің әр түрлі салыстырмалы көлемі; фазалардың сызықтық үлкейуінің әр түрлі коэффиценті болып табылады.

20X маркалы болаттың бастапқы құрылымы зерттелді

Жүргізілген электронды-микроскоптық зерттеулердің көрсетуі бойынша, матрица құрылымында бастапқы (қайтарылған) болат күйінің негізгі құрамдасы (~96%) α-фаза болып табылады, ол дестелік (немесе рейкалы) және пластиналық қайтарылған мартенситтің қоспасы болып келеді (сурет-30).

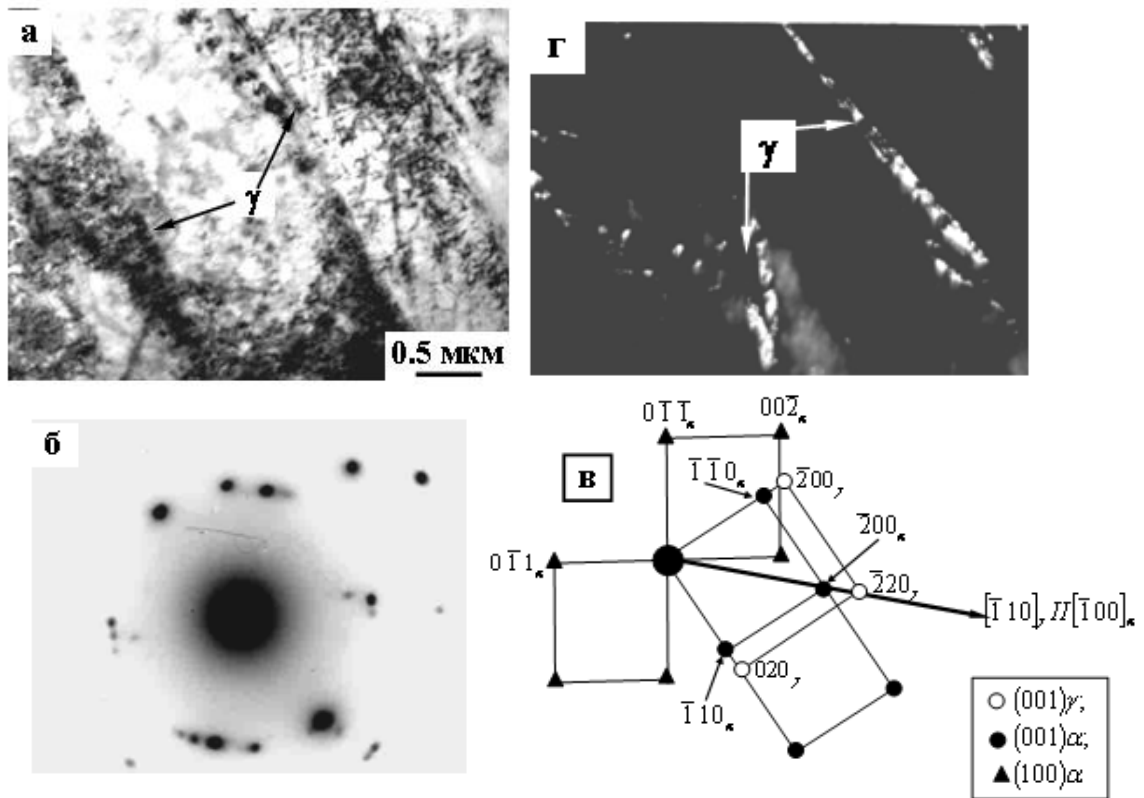


а – дестелік (рейкалы) қайтарылған мартенсит (P); б – рейкалы (P) және пластиналы (II) мартенсит қоспасы

30- Сурет. 20X маркалы қайтарылған болат құрылымының металлографиялық кескіні

Бұл кезде дестелік мартенсит α -фаза көлемінің 0.7 құрайды, ал пластиналық – 0.3. Бұл деректер, дестелік мартенсит, болатта көміртегі мөлшері $\sim 0.3\%$ болған жағдайда, α -фазаның негізгі морфологиялық құрамдасы болып табылатыны орнатылған нәтижелермен жақсы үйлеседі [100.615].

Қалдық аустенит пен α -матрицаның кристалл торлары Курдюмов-Закс бағдарлы қатынасымен өзара байланысқан. Курдюмов-Закс қатынасының көрсетуі бойынша, $\gamma \rightarrow \alpha$ түрленуі кезінде, біріншіден, фазалардың кристалл торлары аз жайылуға ұмтылады, яғни $\gamma \rightarrow \alpha$ түрленуі «бір орында» жүреді, және екіншіден, фазалар кеңістікте үйлесімді орналасуға ұмтылады, ал егер үйлесімділік болмаса, онда бұл үйлеспеушілік дислокациялармен шығарылады. Курдюмов-Закс қатынасының орындалуы, (сурет-31) келтірілген микродифракциялық көрініспен және оның индикаторланған сұлбасымен расталады. (сурет-31-а,г) егжей-тегжейлі талдаймыз. Мартенситті пластина шекарасында жұқа қабатша түрінде қалдық аустенит (γ -фаза) кездеседі (сурет-31-а)



31- Сурет. 20Х маркалы қайтарылған болаттың жұқа құрылымының электронды-микроскопиялық кескіні

Пластиналар шекарасы бойынша – қалдық аустениттің жұқа қабатшалары (γ): а – жарық кеңістіктегі көрініс; б – микродифракциялық көрініс; в – құрамында α - және γ -фазаларының рефлекстері болатын, оның индикаторланған сұлбасы; $[\bar{1}10]_{\gamma}$ және $[\bar{1}00]_{\alpha}$ сәйкес келетін бағыттары тілмен көрсетілген, мұндағы $(001)_{\gamma}$ II $(001)_{\alpha}$ - Курдюмов-Закс қатынасы; г – қараңғы

кеңістіктегі көрініс $[020]_{\gamma}$ рефлексында алынды. Қара (а) және ақ (г) тілдермен γ -фазаның жұқа қабатшалары көрсетілген.

γ -фазасының болуы, берілген аймақтан алынған микродифракциялық көрініспен (сурет-32 б), оның индикаторланған сұлбасымен (сурет-32 в) және $[020]_{\gamma}$ рефлексында алынған қараңғы кеңістіктегі көрініспен (сурет-32 г) расталады. Микродифракциялық көріністен және оның индикаторланған сұлбасынан көрініп тұрғандай, $[\bar{1}00]_{\alpha}$ бағыты $[\bar{1}10]_{\gamma}$ бағытымен сәйкес келеді (сәйкес келетін бағыттар сурет-32-в тілмен көрсетілген). Бұл матрицалық теңдеудің шешілуімен де расталады:

жазықтық үшін:

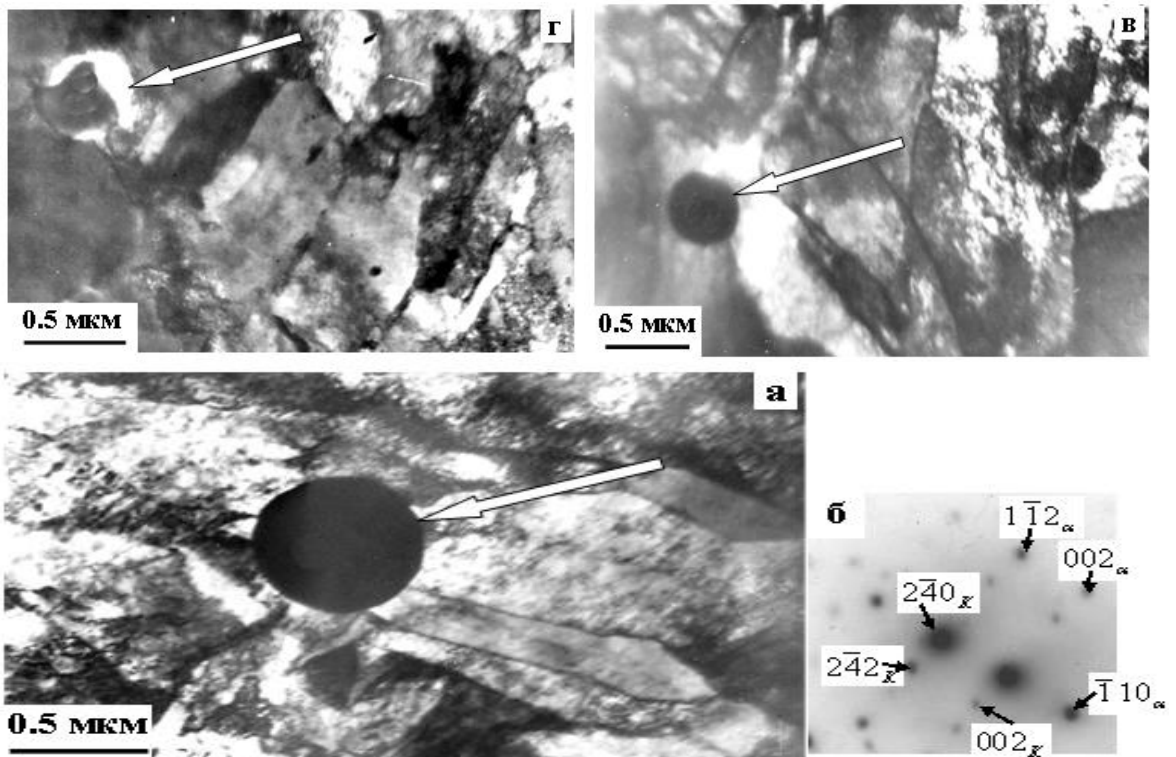
$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix}_{\alpha} = \begin{bmatrix} 1 & \bar{1} & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}_{\gamma} = (001)_{\alpha};$$

бағыттар үшін:

$$\begin{bmatrix} h \\ k \\ l \end{bmatrix}_{\alpha} = \begin{bmatrix} 1 & \bar{1} & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{1} \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}_{\gamma} = [\bar{1}00]_{\alpha}.$$

Осылайша, матрицалық теңдеудің шешу арқылы аламыз: $(001)_{\alpha} // (001)_{\gamma}$ және $[\bar{1}00]_{\alpha} // [\bar{1}10]_{\gamma}$, бұл микроэлектронোগраммада да байқалады (сурет-32 б).

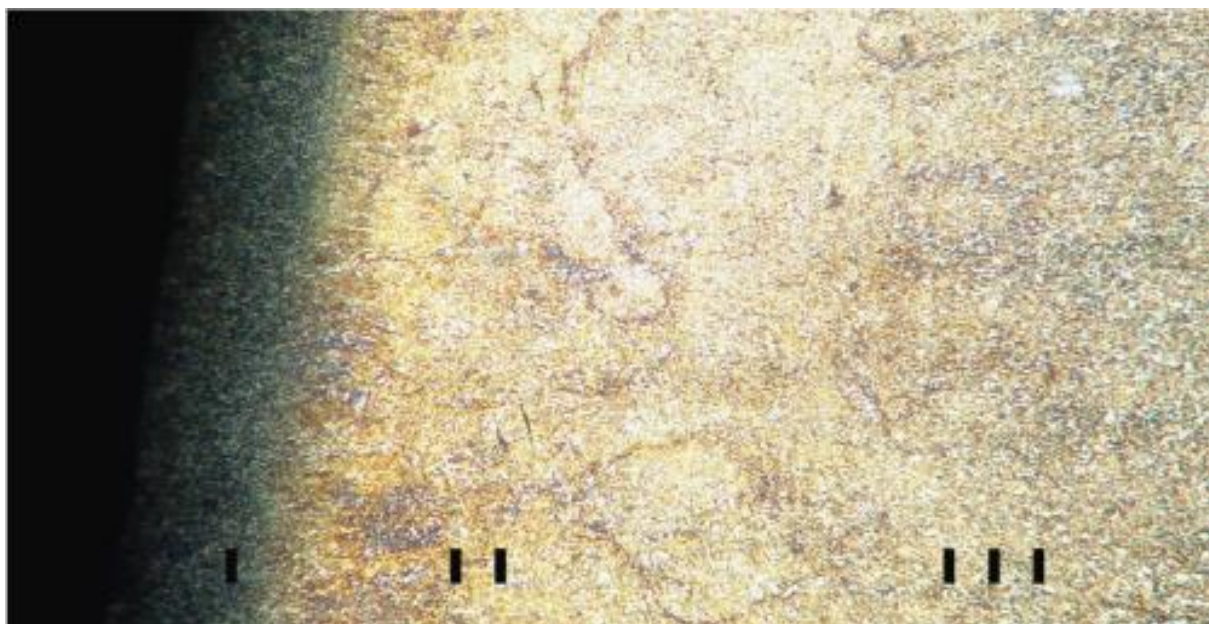
Карбидті фазаның нанокұрылымы: Карбидті фаза, материалда кездейсоқ түрде орналасқан, M_6C типті біріншілей карбидтермен көрсетілген (сурет -32). Көрініп тұрғандай, карбид бөлшектері сфералық пішінге ие, бөлшектердің орташа диаметрі 500 нм құрайды, көлемдік үлесі – ~1%.



32- Сурет. Қайтарылған 20Х маркалы болат микроқұрылымы

Біріншілей M_6C карбид бөлшектері тілдермен көрсетілген, а,в,г – жарық кеңістіктегі кескін; б-(а) бөлшектерінен алынған, индикаторланған микродифракциялық көрініс; $(110)_\alpha$ (α -фазасы) және $(120)_\kappa$ (M_6C карбиді) жазықтықтарына қатысты рефлексстер кездеседі.

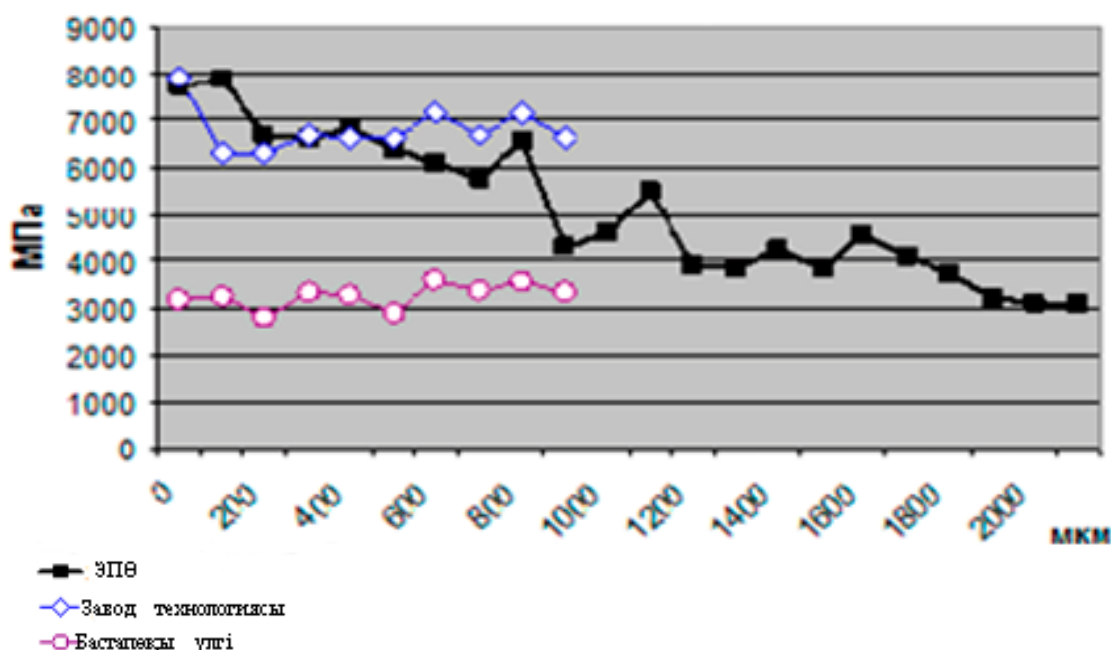
Электролиттік – плазмалық өңдеуден өткен дайындаманың көлденең қимасында үш зона байқалады (сурет-33). Плазманың циклді жоғары температура әсерінен пайда болған құрылымды – фазалық ауысым, өңделген беттің микроқұрылымы – (I зона) 100 мкм қалыңдықты күңгірт қабатпен сипатталады. Ерекше мәнді РЭМ тәсілі арқылы тіркелген, электролит және анодтан плазмалық ағынмен масса - тасымалдау активендірілген легіріленген элементтерге аудару керек. Масса – тасымалдау сөзінің астарында – қатты денеге байланысты заттардың сыртынан немесе ішінен орын ауыстыруы [96]. Күңгірт қабаттың астында (II зона) кіші түйіршікті пластикалық мартенситті кластық құрылымы байқалады, артынан ол бастапқы перлитті – ферриті құрылымға көшеді (III зона).



33- Сурет.ЭПО–дан кейінгі 20X болаттың көлденең қимасының құрылымы көрсетілген

Электролиттік – плазмалық өңдеу 1000...1700 мкм (сурет-34) қалыңдығы бар қабатты алуға мүмкіндік береді. Орнықтырылған мартенситті құрылым зонасының көлденең қимадағы микро – қаттылығы 7000 МПа тең болды (сурет-34). Өңделген беттен арақашықтық үлкейген сайын микро – қаттылық біркелкі бастапқы қалыпқа дейін түседі, орташа алғанда ол өлшем 3000МПа ға жетеді.

Микроқаттылық мәні



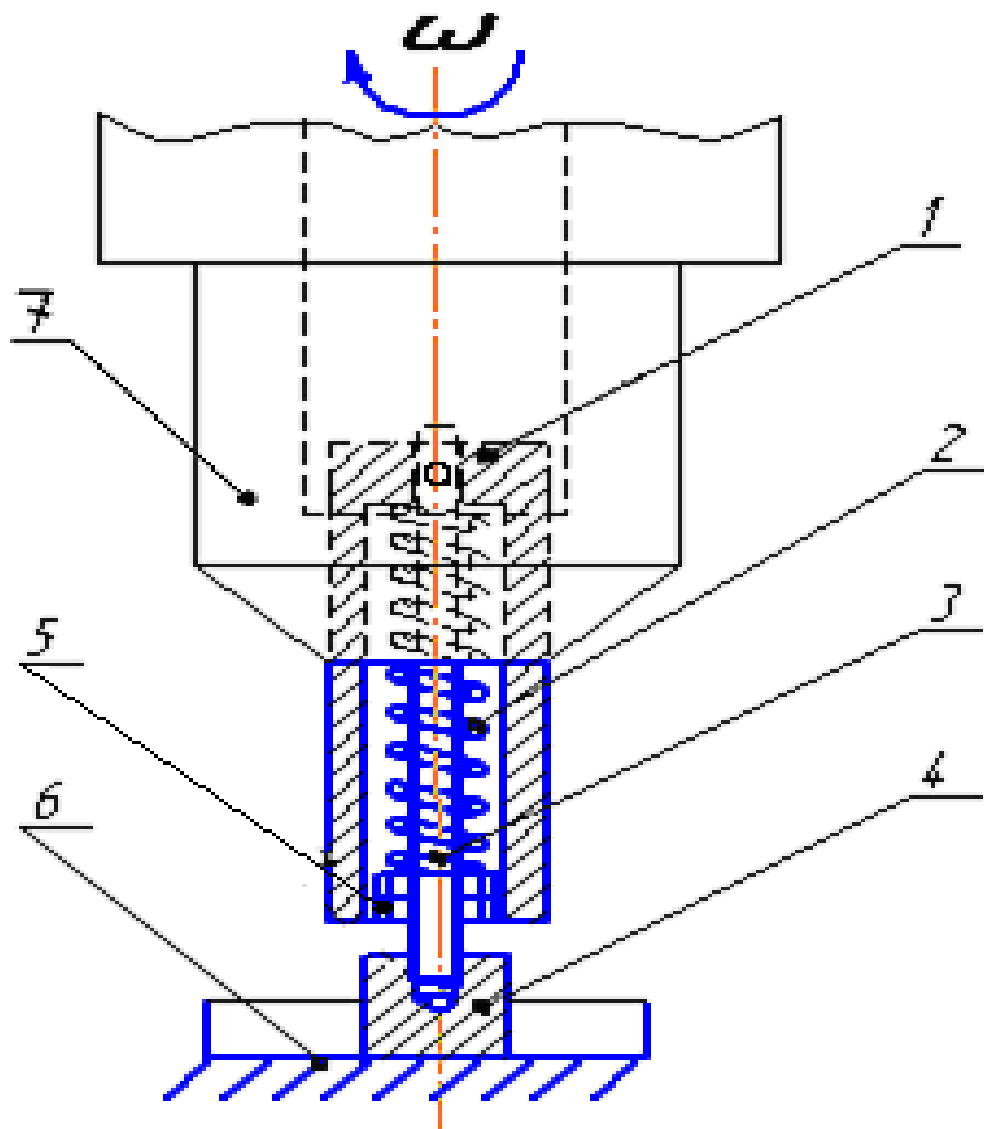
34- Сурет. ЭПӨ – дан кейінге 20X болатының микро қаттылық мәні

Бастапқы үлгіге қарағанда АҚ «УЗПА» - да термиялық өңдеуден өткен болат үдгісінің тозуы аздау, бірақ ЭПӨ – мен салыстырғанда тозу төзімділігі төмендеу. Абразивті қажауға қарсылықты көтеретін ЭПӨ – дан өткен үлгі тозуға төзімділігі ең жақсы [98].

Осылайша, өткізілген анализ негізінде, мұнай-газ қондырғы бөлшектерінің беріктілігін электролиттік – плазмалық өңдеу арқылы беріктігін көтеруге болатынына толықтай көз жеткіземіз. Мұндай өңдеу түрінің басымдылығы: автошынықтыруда уақытың үнемділігі, энергия шығын мөлшерінің аздығы, қуаттың қарқындылығы, қиын конфигурациялы бөлшектерді локальді өңдеуге бейімділігі, процессті іске асырудың қарапайымдылығы болып табылады.

3.2.2 Электролиттік-плазмалық өңдеудің үлгінің механикалық беріктілігі мен үйкеліске төзімділігіне әсері

Үлгілердің тозуға төзімділіктерін. Майлау материалынсыз үйкелу кезіндегі абразивті дискіде, қолданылатын материалдың ұнтақталуы нәтижесіндегі бірлік уақыттағы салмақ шығындарымен бағаланды [101]. (сурет-35). Абразивті тозуға төзімділікке тексеру маңыздылығы келесімен бекітіледі (сурет-35): станинада немесе табанда 1 орнату тұрығына 5 серіппемен 2 тірелетін штокқа 3 бекітілген, тексерілетін үлгі 4. Тексерілетін үлгі 4, айнала отырып $P=15N$ күшімен серіппенің 2 сығуы барысында белгілі бір уақыт аралығында абразивті 6 ортаға үйкеледі. Одан ары, тексерілетін үлгі ауыстырылады, ал тексеру шаралары қайталанады және содан соң олардан алынған нәтижелер салыстырылады.

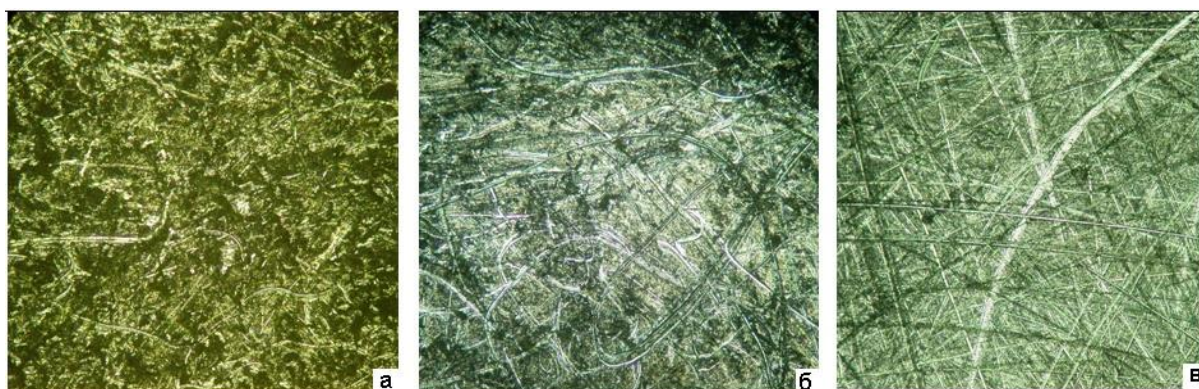


1– станиндар, 2 – қысатынсеріппе, 3 – шток, 4– сыналатынүлгі,
 5 – қондырғыныңтұрқы, 6 – сынауорталары, 7 – айналудыңжетегі.
 35- Сурет. Үлгілерді үйкеліске төзімділікке сынайтын лабораториялық
 қондырғының схемасы

Үш жұдырықшалы патрон, тік бұрғылау станогының шпинделіне орнатылады. Үлгілерді тексеру шараларын тіркелген арнайы берілісте жүргізді. Үлгілердің салмақтары өлшеу үшін, дәлдігі 0,1 mg болып келетін ВЛ-120 электронды таразылары қолданылды.

Тозуға төзімділікке тексеру шараларынан кейінгі болат үлгісінің ЭПӨ тозған беткі бөлігіндегі микробедері (сурет-36а), анағұрлым аз абразивті тозуға дәлел болады.

Егер ұсақ түйірлі марсентит бар болса, онда берік беткі құрылым пайда болады, ол дегеніміз абразивті тозудың ең күрделі формаларының өзінде де (тәжірибе жұмыстары аумағында) бұзылымға ұшырамайды, сонымен қатар бұзылымдардың ауқымды ошақтарының түзілуін тоқтатады. Ең жоғары тозу, өңделмеген бастапқы болат үлгісінде байқалады (сурет-36в).



а –ЭПӨ дан кейін, б – «УЗПА» АҚ дағы термоөңделген, в – бастапқы күйде
36- Сурет. Абразивті үйкеліске төзімділікке сынағаннан кейінгі 20Х болат үлгілерінің микро бедері, х 100

Перлит-ферритті құрылым, жеңіл үйкеледі. Ол дегеніміз, термиялық абразивпен тұрғыда өңделмеген болаттың тозуға төзімділігінің төмендігі жайлы мәліметті растайды. «УЗПА» АҚ-да термиялық түрде өңделген болат үлгісінің тозуы, бастапқы үлгімен салыстырғанда анағұрлым төмен (сурет-36, б), дегенмен, ЭПӨ үлгісімен салыстырғанда тозуға төзімділік бойынша анағұрлым артта қалады.

ЭПӨ-дан кейінгі үлгі ең жоғары тозуға төзімділікке ие (кесте-22) көрініп тұрғандай, болаттың абразивті үйкелуге қарсылығы жоғарылайды.

Кесте-22 . 20Х болаты үлгісінің тозуға төзімділік мәні

Болат	Өңдеу түрі	Hv, МПа	Тозуға төзімділікmg/час
20Х	ЭПӨ	6817	54,4
	Келесі шыңдалу цементтелу	6298	100,4
	Бастапқы жағдайда	3271	150,0

Алынған мәліметтерді негізге ала отырып, электролиттік-плазмалық өңдеу шараларының бұрғы инструментінің тозуға төзімділігін жоғарылататындығын айта кетуімізге болады. Яғни ол кезде еңбек пен энергия мөлшері аз кетеді және соның арқасында бұйымның өзіндік құны толығымен төмендейді.

Зерттеу шараларын негізге ала отырып, электролиттік-плазмалық өңдеу шараларынан кейін, 20Х болаты үлгілерінің абразивті тозуға төзімділігі, «ВКМЗ» АҚ өндеген, ұқсас түрдегі үлгінің тозуға төзімділігінен кемінде екі есе асып түсетіндігін дәлелдеді [101.Б55].

3.2.3 Бұрғы инструментіне арналған электролиттік-плазмалық өңдеу технологиясын игеру

Электролиттік-плазмалық өңдеу шараларының технологиялық процесі (кесте-23) келесі іс-шараларды қамтиды: талап етілетін үйлесімділіктегі бұйымның беткі бөлігін алдын ала механикалық өңдеу; электролиттік-плазмалық өңдеу шараларынан кейін механикалық өңдеу.

Электролиттік-плазмалық өңдеу шараларынан кейін, әрбір үлгі, ағынды суларда жуылады және одан кейін кептіріледі. Одан кейін жабын сапасының

параметрлерін өлшеу шаралары орындалады: яғни жұмысшы қабат қалыңдығы, микроқаттылық және т.б.

Кесте-23 –электролиттік-плазмалық өңдеу

№	Технологиялық процесс
1	Механикалық өңдеу.
2	Беткі бөлесті өңдеу шараларына жатпайтын окшаулау.
3	Майсыздандыру.
4	Электролитті дайындау (10% N ₂ CO ₃).
5	Электролиттік-плазмалық өңдеу.
6	Окшауларды шешіу.
7	ЭПӨ сапасын бақылау, ақауларды дұрстау.
8	Ұштау немесе тегістеу.
9	Сапаны бақылау.

ЭПӨ процесін, жұмысшы электролиттер мен өңдеу режимдерінің шығындық сипаттамаларын орната отырып жабдықты жөндеу шараларынан бастау.

Алдын ала жүргізілетін этапта, энергетикалық сипаттамалар, кинематикалық параметрлер (қуыстар мен бұйымның орын ауыстыру жылдамдығы), өңдеу бұрышы мен арақашықтығы беріледі. Плазмалы алау ешқандай соғусыз біртегіс жануы тиіс. Доға қозған кезде, плазматрон дайындалатын бетке қарай бағытталуын бақылау қажет. Айналатын бөлшектің беткі бөлігіне қатысты плазматронның орын ауыстыру жылдамдығы 0,8-0,1 мм/айн-да шамамен 10 м/мин-ты құруы тиіс және өңделген жолақтарды шандану дағының 1/3 мөлшерінде жабылуы міндетті [102].

Бөлшектің айналу жылдамдығын келесі формуламен анықтауға болады

$$V = \pi Dn / 1000, \quad (20)$$

мұнда n – бұрыштық жылдамдық, айн/мин;

D – бұйым диаметрі, мм .

Қарапайым түрге келтіру шаралары, бір кіріс кезінде шамамен 0,25 мм-ді оңайландыра отырып бірнеше кірісте жүргізілуі тиіс. Әрбір жаңа кірісті бастапқы нүктеден бастау қажет. Бұйымның 300⁰С температураға дейін қызып кетуінің алдын алу үшін олардың температураларын үнемі бақылап отыру қажет. Мұндай бақылау шараларын, термоиндикаторлы қарындаштардың көмегімен іске асырады. Қарындаш нөмірі (140,200,250,300 және т.с.с) түстің өзгеру температурасын көрсетеді. Шекті температураға жеткен кезде, процесті тоқтату қажет және бөлшекті 50...100⁰С температураға дейін суыту қажет. Жабын қалыңдығы 1,5-2,0 мм-ден асқан жағдайда сызаттар түзілуі мүмкін, мұндай жағдайдағы суыту шараларын термотұрақтандырушы агентте, мысалы асбестте, құмдарда және т.б жүргізу қажет.

Үшінші бөлім бойынша тұжырым:

Ұсынылып отырған электролиттік-плазмалық өңдеу технологиясы бұрғылау құрал-жабыдығының табағының беткі қабатының қаттылығын HRC=58-63ке дейін, ал шарышкалардың қаттылығын HRC=56-62ке дейін

жеткізуге мүмкіндік береді, олардың беріктігі жоғары өңделген қабаттарының қалыңдығы 2мм-ден асады.

ЭПӨ технологиясының негізгі артықшылықтары:

- 1) Бөлшектің бетінің белгілі –бір бөлігін зоналық өңдеу мүмкіндігі;
- 2) Бөлшектің бетін өңдеуге дейін алдын-ала дайындаудың, тазалаудың қажеті жоқтығы;
- 3) Улы емес қосылыстардың судағы ертінділері қолданылады;
- 4) Өңдеу кезінде негізгі металл бұйым қыздырылмайды, сондықтан алдын-ала барлық механикалық, термиялық өңдеуден өткен, даяр бұйымдарды өңдеуге болады.
- 5) ЭПӨ диффузиялық процестерді тездету, сөйтіп жалпы өңдеу уақыты қысқарады;
- 6) ЭПӨ-де қолданылатын қондырғылардың өлшемдері үлкен емес, құрлығы қарапайым болып келеді, сондықтан оларды қалаған мм бөлімшесіне қоюға болады.

4.АЛЮМИНИЙ ҚОРЫТПАЛАРЫН ЭЛЕКТРОЛИТТІК-ПЛАЗМАЛЫҚ ӨНДЕУ

Алюминий мен оның қорытпалары, құрамына, жартылай дайын өнім түріне, бөлшектер мен дайындамаларға, сонымен қатар олардың мәндеріне тәуелді термиялық өңдеудің әртүрлі түріне ұшырайды. Алюминийде полиморфты және мартенситті түрленулер жоқ. Сондықтан алюминий қорытпалары үшін, осы түрленулерге байланысты термиялық өңдеу түрлері жоқ.

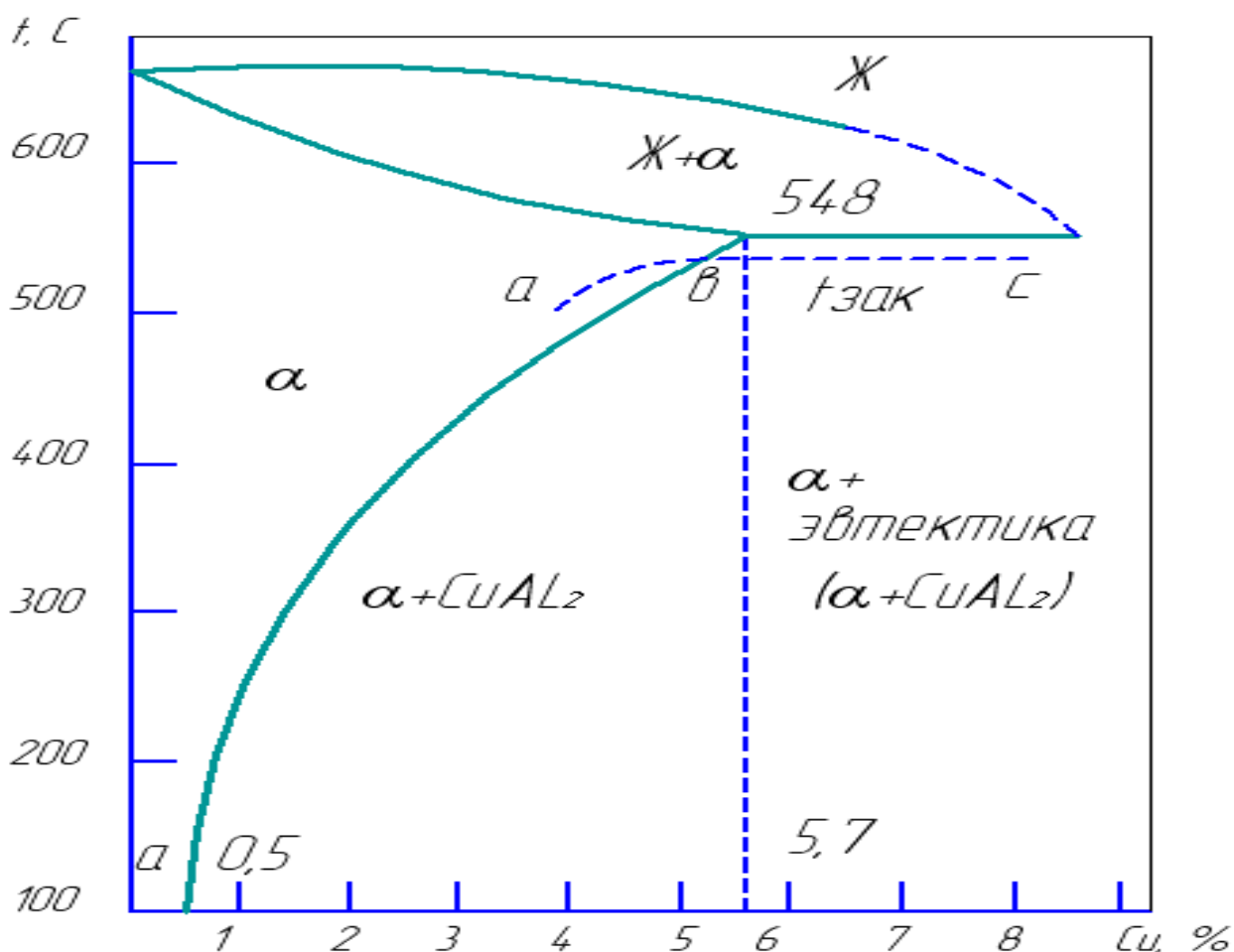
Алюминийдің айрықша ерекшелігі оның жоғары жылу өткізгіштігі, осыған байланысты шынықтыру мәселесі аса күрделі емес. Алюминий мен оның қорытпаларының пеш атмосферасын құрайтын газдармен әрекеттесуге бейімділігі аз. Сондықтан соңғы уақытқа дейін, алюминий қорытпаларын термиялық өңдеу кезінде, қорғаныш атмосферасын қолданудың айрықша қажеттілігі туындаған емес[103].

Деформациядан кейін, алюминийдің жартылай дайын өнімдерінде, түйіршік өлшемі, көлемі бойынша оның біртектілігі мен түйіршік–ішілік құрылысы бойынша ерекшеленетін әртүрлі құрылымдар туындайды. Құрылым типі қорытпаның химиялық құрамымен, температурамен, деформация дәрежесімен және жылдамдығымен, сонымен қатар жартылай дайын өнім дайындау процесінде кернеулі күй сұлбасымен анықталады. Деформацияланған құрылымы термиялық өңдеуден кейін металдың құрылымдық күйіне мұралылық әсерін тигізеді. Сондықтан, жартылай дайын өнімнің алдыңғы деформациялану түрі мен сипатын ескерместен, термиялық өңдеу режимін таңдауға болмайды. Алюминий қорытпасының коррозиялық төзімділігін жақсартуға арналған плазмалық электролиттік тотығу технологиясы бойынша алюминий қорытпасының бетінде керамикалық пленка қабаты дайындалды. Плазма тотығу процесінің ағымдық және кернеу сипаттамалары және бұзылу сипаттамалары талданды және плазмадағы тотығу разрядты сатысында плазмалық белсенді компоненттер жарық эмиссия спектрометрімен талданды, керамикалық пленка коррозияға төзімділігі зерттелді[103,Б106].

Алюминий қорытпаларынан алынатын жартылай дайын өнім қасиеттеріне қойылатын талаптардың көптүрлілігі, термиялық өңдеу түрінің таңдалуын болжайды. Бір жағдайларда иілгіштіктің жеткілікті жоғары деңгейінде жоғары беріктілік сипаттамалары талап етіледі; екіншісінде – бөлшектер мен түйіндерді дайындау кезінде, суық деформациялау мүмкіндігін қамтамасыз ету үшін, максималды иілгіштік қажет; бірқатар жағдайларда ресурстық сипаттамалары маңызды және т.с.с. Термиялық өңдеу түрі мен режимдерінің дұрыс таңдалуы, қасиеттері қойылатын талаптарды қанағаттандыратын жартылай дайын өнімдерін алуға мүмкіндік береді.

Шынықтырудың негізгі міндеті – алюминий матрицасында легірлеуші компоненттердің максималды аса қаныққан ерітінділерін белгілеу. Процесс мәні төмен температуралық фазалардың еруіне жеткілікті температураға дейін қорытпаларды қыздырудан, осы температурада ұстап тұрудан және ыдырау процесін болдырмайтын жылдамдықпен суытудан тұрады[103.Б108].

Шынықтыру үшін қыздыру температурасын қорытпа табиғатына тәуелді таңдайды. Төмен температуралық фазалардың еруі – диффузиялық процесс болғандықтан, шынықтыру температурасы мүмкіндігінше жоғары болуы қажет. Ол механикалық қасиеттерді күрт төмендететін, күйдіріп жіберудің туындауынан қорытпалардың тепе-теңсіз солидусының температурасынан артық бола алмайды. Бірқатар жағдайларда шынықтыру температурасының жоғарғы шегі түйіршік өсуімен шектеледі[104]. Шынықтыру үшін қыздыру температурасының оңтайлы аралығы (сурет-37) көрсетілген.



37- Сурет.Алюминий қорытпаларын шынықтыру үшін қыздыру температурасын таңдау сұлбасы.

Шынықтыру үшін қыздыру температурасында ұстап тұру ұзақтығы артық фаза құрамына кіретін легірлеуші элементтердің еру жылдамдығымен анықталады, және қорытпа табиғатына, оның құрылымдық күйіне және қыздыру шарттарына тәуелді.

Зерттеу материалын талдау

Зерттеу жүргізу үшін АК7 ГОСТ 1583-93 құйма алюминий қорытпасынан (кесте-24) және Д16 ГОСТ 21488-97 деформацияланатын алюминий қорытпасынан дайындалған үлгілер пайдаланылды. Материал таңдау кезінде, берілген қорытпалардың машина жасау саласында, сонымен қатар НШ немесе

НШ-У типті тістегерішті насос корпустары мен өзге ауыл шаруашылық техника бөлшектерін дайындауда кеңінен қолданылуы жетекшілікке алынды[104].

Өлшемі 10×10×20 мм болатын үлгілер дайындалды (сурет-38). Оларды АК-7 және Д16 алюминий қорытпаларынан 1мм қалыңдықпен, алмаз дискісімен кесіп алады. Оны салқындатқыш сұйықтыққа тиейді. Кесу айналымы аз $n = 350$ об/мин және жүктемесі төмен $m = 250$ г. Үлгі термиялық деформацияға ұшырамайды.



38- Сурет. Электrolиттік-плазмалы өңдеу үлгілері

Кесте-24. АК7 алюминий қорытпасының химиялық құрамы

Fe	Si	Mn	Ni	Al	Cu	Mg	Zn
1,3 %	6 – 8 %	0,6 % дейін	0,3 % дейін	87,4 - 93,8 %	1,5 % дейін	0,2 - 0,5 %	0,5 % дейін

Кесте-25. Д16 алюминий қорытпасының химиялық құрамы

Fe	Si	Mn	Ni	Al	Cu	Mg	Zn
0,5% дейін	0,5%	0,3 - 0,9%	0,1% дейін	90,8 - 94,7%	3,8 - 4,9 дейін	1,2 - 1,8%	0,3% дейін

Әдеби шолуға талдау жасай отырып, тәжірибе үшін келесі электролит таңдалды:

- 1) 10 % сулы ерітіндісі, селитра Na_2CO_3 .

4.1.Алюминий қорытпаларын электролиттік-плазмалық өңдеу режимдері

Әдеби деректерді талдау негізінде, АК7 мен Д16 алюминий қорытпасын беріктендіру үшін аса келешекті электролит үшін –10% Na_2CO_3 болып табылатындығы қаралды. Электролиттердің дайындалуы дистилденген суда компоненттердің қажетті мөлшерін еріту жолымен жүзеге асырылды. Компоненттердің мөлшерленуі ВЛКТ-500 үлгідегі зертханалық таразыда жүргізілді. Өлшеу кезіндегі дәлсіздік 0,02г артық емес. Келесі режимдер таңдалды: Д16 өңдеу режимі: электролит Na_2CO_3 10 %, (кесте-26, 27).

Кесте-26. АК7 өңдеу режимдері

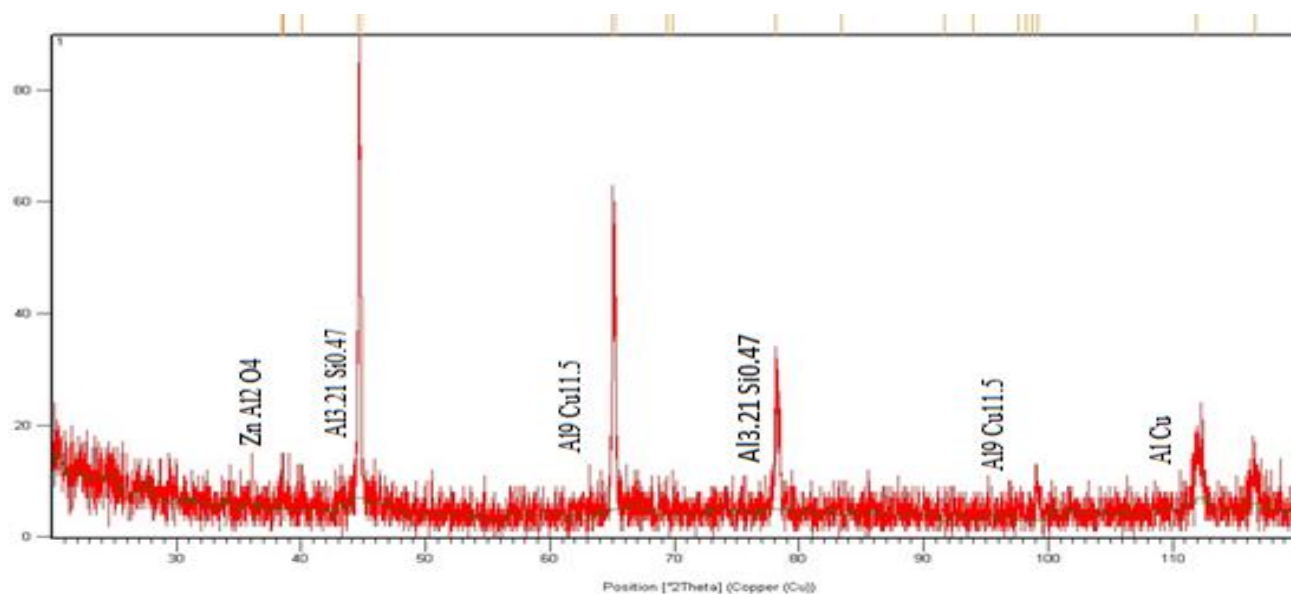
№	Шынықтыру t (сек)	Суыту t (сек)	U(B)	I(A)	Цикл саны
1	2	2	110	40-50	10
2	3	3	120	40-50	10
3	5	2	110	20-30	10
4	1	3	110	30-40	20

Кесте-27. Д16 өңдеу режимдері

№	Шынықтыру t (сек)	Суыту t (сек)	U(B)	I(A)	өңдеу уақыты (сек)
1	5	2	210	2	60
2	3	1	230	3	60
3	4	1	230	3	60
4	4	1	230	3	60
5	4	1	230	3	180
6	4	1	230	3	180
7	4	1	230	3	300
8	4	1	230	3	300
9	4	1	220	2	300
10	2	1	220	2	150
11	2	1	220	2	300
12	2	1	220	2	300

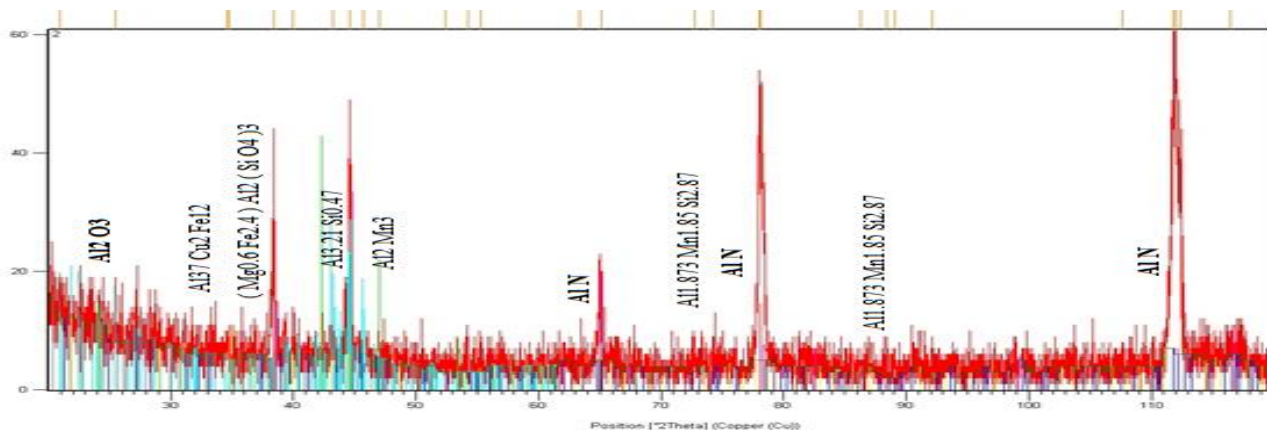
4.2. Электролиттік-плазмалық өңдеу кезінде Д16 алюминий қорытпасында жүретін фазалық өзгерістер

Д16 алюминий қорытпасының бетінің фазалық құрамын анықтау үшін рентгенқұрылымдық зерттеулер жүргізілді. (сурет-39) өңдеуге дейін Д16 алюминий қорытпасының үлгісінен түсірілген дифрактограмма келтірілген.



Сурет-39. Бастапқы үлгінің рентгендік дифрактограммасы

Көрініп тұрғандай, Д16 алюминийдің фазалық құрамында алюминий-кремний $Al_{3.21}Si_{0.47}$, алюминий-мыс $AlCu$, алюминий – хром $Al_{0.983}Cr_{0.017}$ кездеседі. ЭПО -дан кейін Д16 алюминий қорытпасының үлгісінің бетінде алюминий тотығы Al_2O_3 , алюминий нитридін AlN , альмандин, магнезиялық синтетикалық $(Mg_{0.6}Fe_{2.4})Al_2(SiO_4)_3$, алюминийлі марганец Al_2Mn_3 , алюминий-марганей-кремний $Al_{1.873}Mn_{1.85}Si_{2.87}$ фазаларының кездесуі анықталды (сурет-40).



40- Сурет. Үлгінің өңдеуден кейінгі рентгендік дифрактограммасы

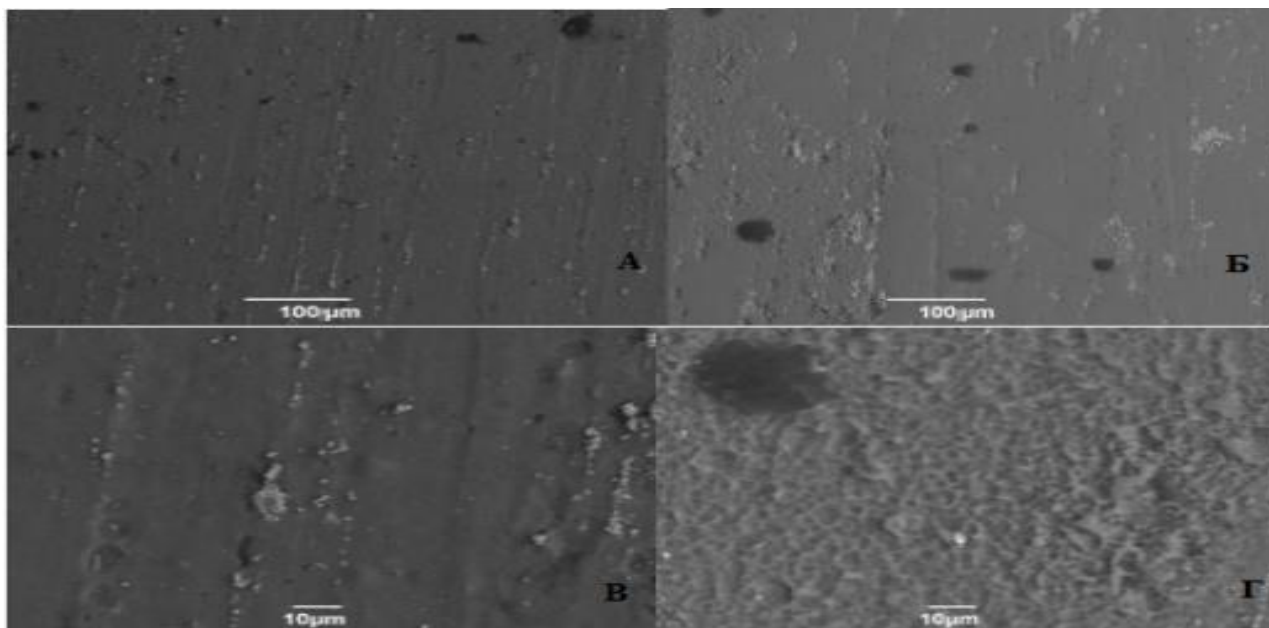
Өңдеуге дейінгі және өңдеуден кейінгі Д16 фазалық құрамы (кестеде-28) келтірілген.

кесте -28. Өңдеуге дейінгі және өңдеуден кейінгі Д16 фазалық құрамы

өңдеуге дейін			өңдеуден кейін		
[°2Th.]	d, Å	Фаза	[°2Th.]	d, Å	Фаза
-	-	-	25.4767	3.49633	Al_2O_3
			34.7793	2.57952	$Al_{37}Cu_2Fe_{12}$
38.4964	2.33858	$Al_{0.983}Cr_{0.017}$	38.3980	2.34434	$Al_{3.21}Si_{0.47}$
			39.9639	2.25602	$(Mg_{0.6}Fe_{2.4})Al_2(SiO_4)_3$
40.0856	2.24945	$ZnAl_2O_4$	43.1707	2.09558	Al_3Cr_7
44.6231	2.02901	$Al_{3.21}Si_{0.47}$	44.5999	2.03169	$Al_{3.21}Si_{0.47}$
-	-	-	46.9729	1.93444	Al_2Mn_3
			63.3800	1.46755	$(Mg_{0.6}Fe_{2.4})Al_2(SiO_4)_3$
65.0518	1.43263	$Al_9Cu_{11.5}$	65.0939	1.43299	AlN
			72.7085	1.30055	$Al_{1.873}Mn_{1.85}Si_{2.87}$
78.1496	1.22205	$Al_{3.21}Si_{0.47}$	78.1569	1.22296	AlN
98.2653	1.01861	$Al_9Cu_{11.5}$	88.4609	1.10430	$Al_{1.873}Mn_{1.85}Si_{2.87}$
111.9396	0.92948	$AlCu$	111.8007	0.93024	$Al_{1.873}Mn_{1.85}Si_{2.87}$
			112.0012	0.92914	AlN

4.3 Электродиттік-плазмалық өңдеу кезінде Д16 алюминий қорытпасының құрылымдық өзгерістері

Электродиттік-плазмалық өңдеу Д16 алюминий қорытпасы үлгілерінің микроқұрылымына әсерін салыстыру үшін металлографиялық зерттеулер жүргізілді.ЭПО ден кейін Д16 алюминий қорытпасы үлгілерінің бетінің құрылымын зерттеу кезінде ауқымды құрылымдық өзгерістер айқындалды. Мәселен,(сурет-41) ЭПО-ға дейінгі және кейінгі, Д16 алюминий қорытпасының беттік қабатының микроқұрылымы көрсетілген. Д16 алюминий қорытпасының микроқұрылымы, бастапқы күйде талшықты құрылым болып келеді.

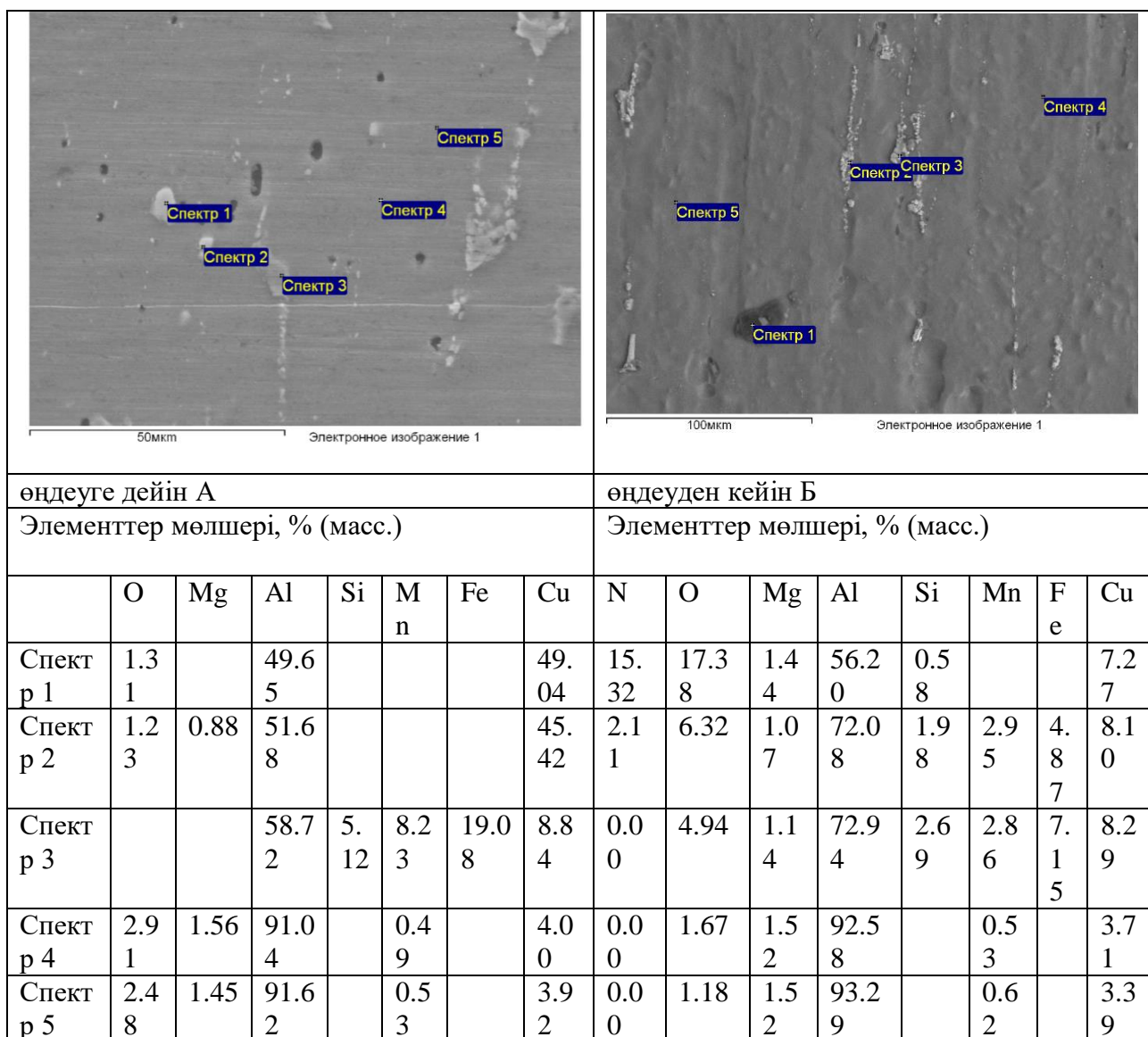


41- Сурет.ЭПО-гедейінгі және кейінгі (Б, Г) Д16 алюминий қорытпасы, беттік микроқұрылым (А, Б) x200 (В, Г) x1000 есе ұлғайтылған

Электродиттік-Плазмалық өңдеу жүргізгеннен кейінД16 алюминий қорытпасы бетінің микроқұрылымы өзгереді. (суретте-41) көрініп тұрғандай, өңдеуден кейін фазалық түрленулер саны және сәйкесінше Д16 алюминий қорытпасының беттік модификациясы ұлғаяды: көптеген ойықтар мен еріген жерлер пайда болады. Оған қоса, алюминий қорытпасының бетінде ұсақ дисперсті нитридті бөлшектер пайда болады (рентгендікұрылымдық деректер негізінде). Ерімейтін нитридтік қосындылар, плазмалық қабықшадан түсетін азот иондарының алюминий қорытпасының құрамындағы легірлеуші элементтермен әрекеттесуі салдарынан түзіледі[104].

JSM-6390LV растрлы электронды микроскопта энергетикалық дисперсті талдау режимінде микроталдау нәтижелері келтірілген. Электродиттік-плазмалық өңдеуден кейінгі элементтік талдау нәтижелері (сурет-42), беріктендірілетін алюминий қорытпасында сәйкес элементтер қосындылары мен оттегінің туындауын көрсетеді. Қосындылар жасанды тозу процесінде қатты α -ерітіндісінен бөлінеді. Тозудан кейін, алюминийдің беттік қабаты қышқылданады. Элементтер, дисперсті түрде бөліне отырып, қорытпаны

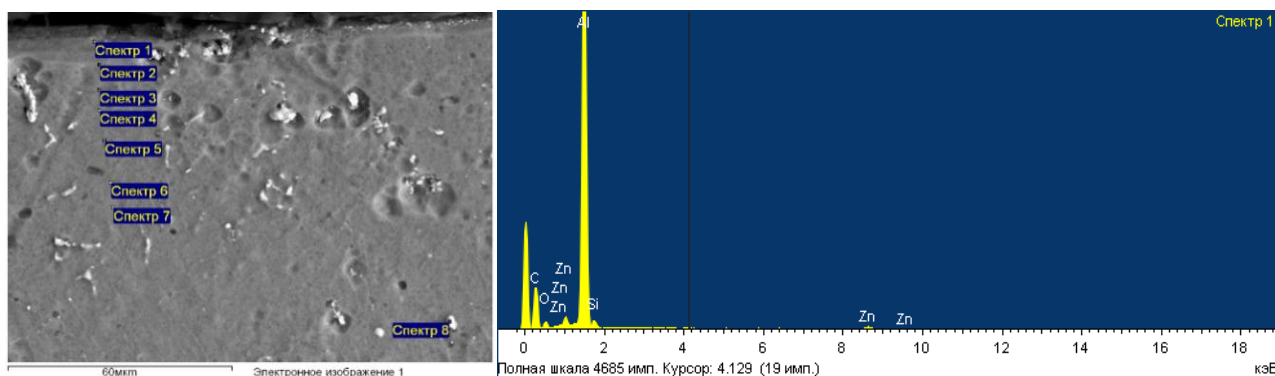
беріктендіреді. Үлгінің бетінде алюминий нитриді түзілуінің жергілікті нүктелері кара дақтар түрінде кездеседі.



42- Сурет. Д16 үлгісінің бетін өңдеуге дейін (А) және кейін (Б) энергодисперсиялық микро талдау нәтижелері

ЭПО-дан кейін Д16 алюминий қорытпасының көлденең қимасын РЭМ нәтижелері көрсетілген. Элементтік талдау көрсетуі бойынша, ЭПО-дан кейін оттегі сияқты элемент пайда болады және кейбір нүктелерде мыс мөлшері ұлғаяды. Бұл анод ретінде мыс пластинасының пайдаланылуымен шартталған.

Сонымен қатар, көлденең энергодисперстік талдауда (сурет-43) қара қабат зонасы көрінеді, ол электролит пен анодтың мыстан зарядталған иондарынан масса тасымалдау процесінде түзіледі. Қара аймақ алюминий корундынан түзіледі деген болжам бар, оның қаттылығы жоғары болады.



43- Сурет.Өңдеуден кейінгі Д16 көлденең үлгісінің элементтік талдауы

Д16 алюминий қорытпасының көлденең үлгісінің элементтік құрамы (кесте-29) келтірілген

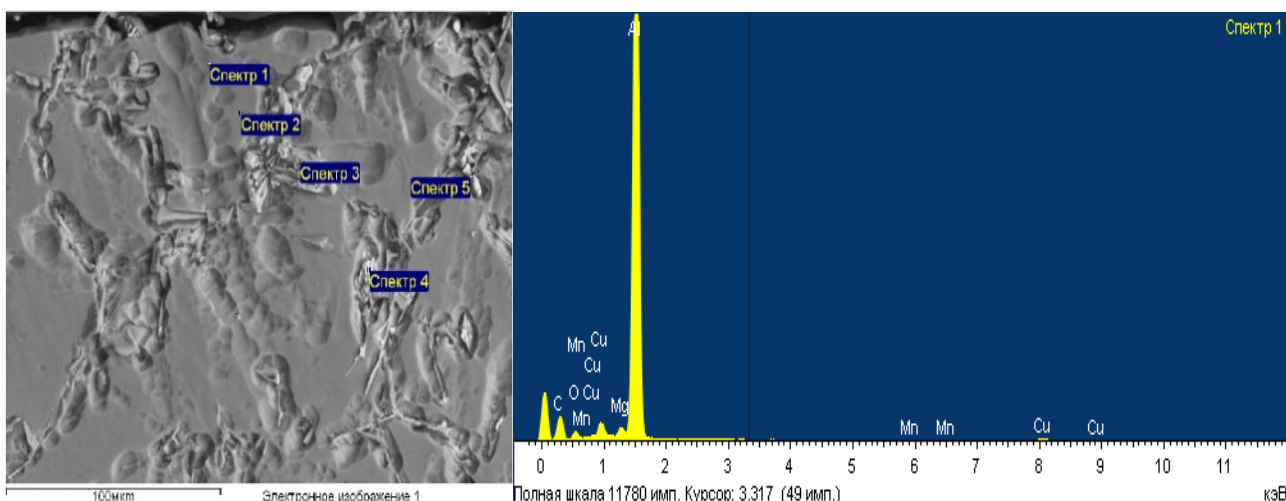
Кесте-29.Д16 алюминий қорытпасының көлденең үлгісінің элементтік құрамы

Спектр	В стат.	O	Mg	Al	Si	Mn	Cu	Барлығы
Спектр 1	Иә	8.83	1.61	85.53		0.56	3.47	100.00
Спектр 2	Иә	6.17	1.62	88.18		0.57	3.46	100.00
Спектр 3	Иә	4.62	1.61	89.36		0.64	3.78	100.00
Спектр 4	Иә	4.57	1.56	89.43		0.44	4.01	100.00
Спектр 5	Иә	4.61	1.52	89.84		0.40	3.63	100.00
Спектр 6	Иә	4.27	1.48	90.51		0.40	3.34	100.00
Спектр 7	Иә	3.42	1.57	91.21		0.48	3.31	100.00
Спектр 8	Иә	10.60	1.42	62.71	3.80	0.38	21.09	100.00
Макс.		10.60	1.62	91.21	3.80	0.64	21.09	
Мин.		3.42	1.42	62.71	3.80	0.38	3.31	

4.4 Электролиттік-плазмалық өңдеу кезінде АК7 қорытпасында жүретін құрылымдық өзгерістер

Энергодисперсті талдау көрсетуінше, өңдеуден кейін төсеменің легірлеуші элементтерінің еруі мен оған электролиттің химиялық элементтерінің енуі жүреді (кесте-30).

Кремнийдің орташа концентрациясы АК7 қорытпасының құрамындағы кремний концентрациясынан жоғары. Мұны келесідей түсіндіруге болады. Электролит құрамына кіретін кремний қышқылы (сұйықшыны) Na_2SiO_3 су мен кремний қостотығына SiO_2 ыдырайды, ол электродта алюминий тотығымен Al_2O_3 реакцияға түсе отырып, силлиманит $\text{Al}_2\text{O}_3 \times \text{SiO}_2$ және муллит $3\text{Al}_2\text{O}_3 \times 2\text{SiO}_2$ түзуі мүмкін [105,106].



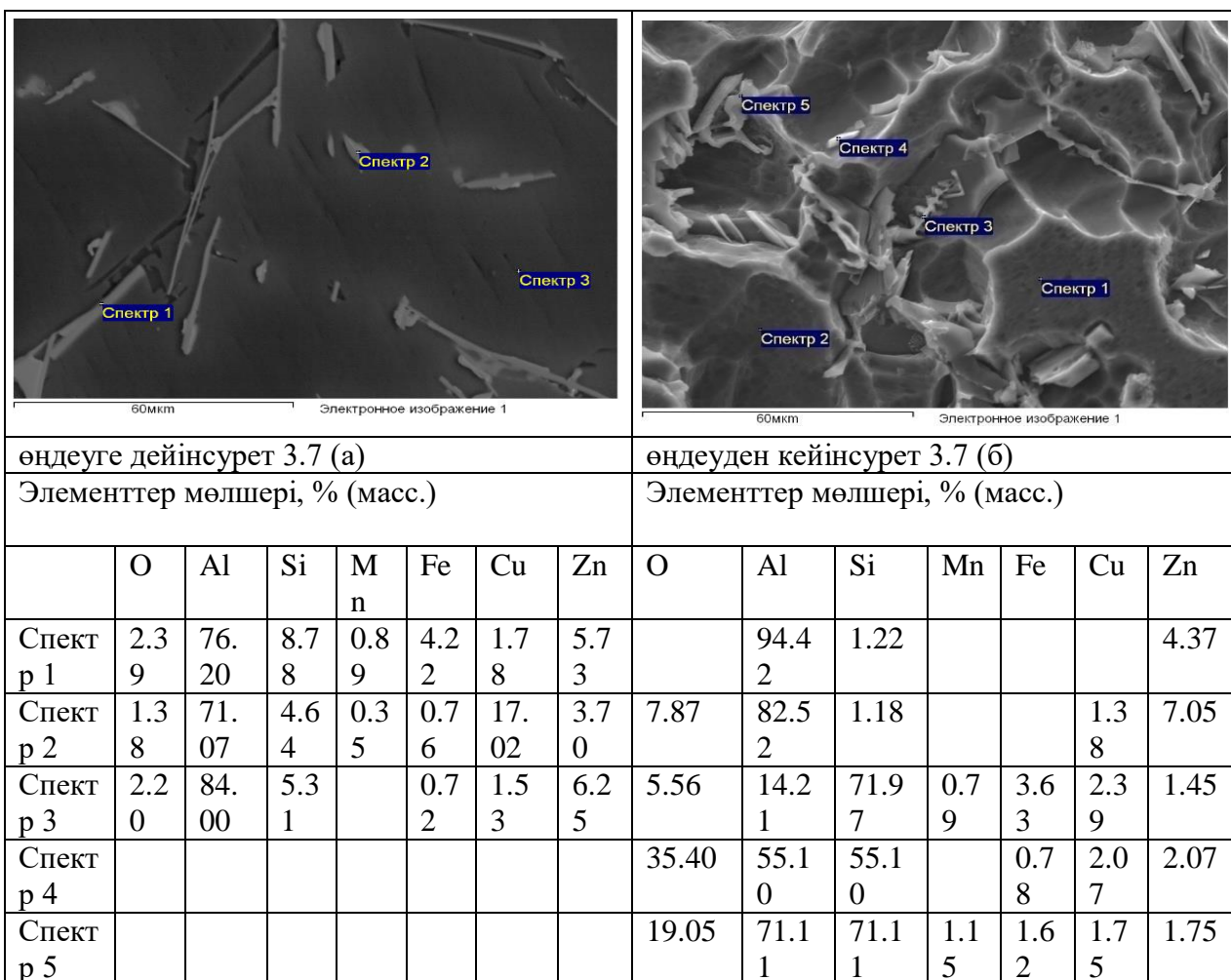
44- Сурет. Өңдеуден кейін АК7 көлденең үлгісін энерго-дисперстік микроталдау нәтижелері.

Кесте-30. АК7 алюминий қорытпасының көлденең үлгісінің элементтік құрамы

Спектр	В ста т.	O	Al	Si	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Барлығы
Спектр 1	Иә	8.82	82.95	3.96						4.27	100.00
Спектр 2	Иә	9.41	81.38	3.71					1.15	4.34	100.00
Спектр 3	Иә	10.15	55.30	6.46	0.89	8.58	12.08		3.04	3.49	100.00
Спектр 4	Иә	15.80	53.54	12.37		1.61	7.49		5.90	3.29	100.00
Спектр 5	Иә	8.88	45.86	4.69				2.41	33.58	4.59	100.00
Макс		15.80	82.95	12.37	0.89	8.58	12.08	2.41	33.58	4.59	
Мин		8.82	45.86	3.71	0.89	1.61	7.49	2.41	1.15	3.29	

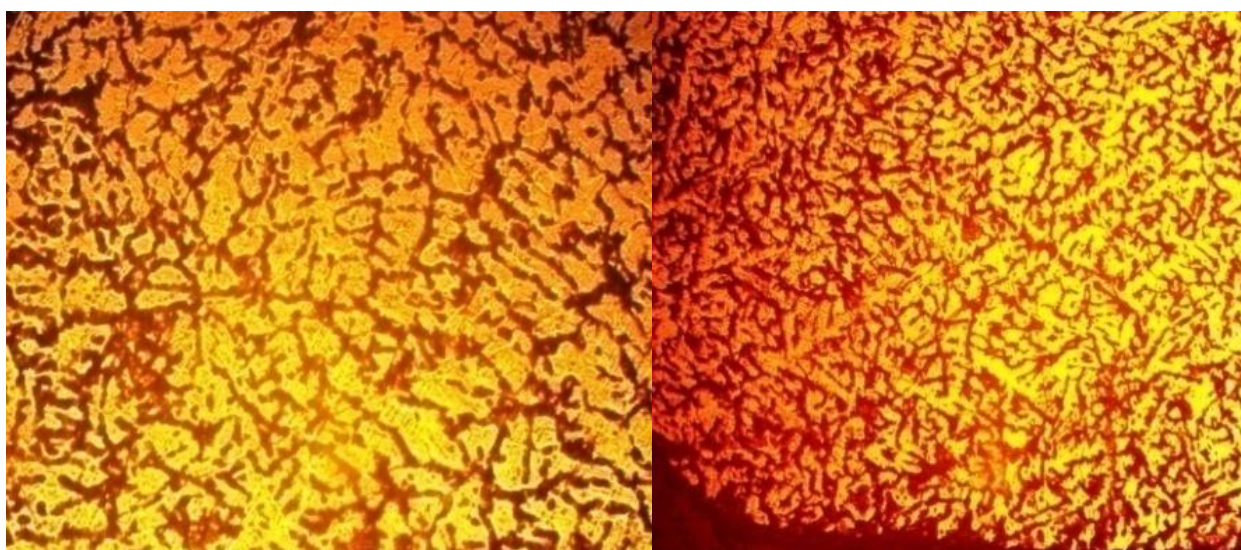
Барлық нәтижелер салмақпен %

АК7 алюминий қорытпасының модификацияланған беттік қабатының химиялық құрамын анықтау үшін, JSM-6390LV растрлы электронды микроскопта өңделген үлгілердің энерго-дисперстік микроталдауы жүргізілді (сурет-45). Алынған деректер негізінде, үлгілердің сыртқы беті әртекті екенін айтуға болады, микрорельефі дамыған (сурет-45б). Дербес бөлшектер мен кеуектер байқалады. Микродоғалы жабындының сыртқы бетінің әдеттегі морфологиясы қышқылдандыру режиміне тәуелді емес.



45- Сурет. АК7 үлгісінің бетін өңдеуге дейін (А) және кейін (Б) энергодисперсиялық микроталдау нәтижелері

ЭПО- дан кейінгі көлденең үлгінің микроқұрылымы көрсетілген (сурет-46), ол бастапқы микроқұрылымнан ауқымды ерекшеленеді.



46- Сурет .Өңдеуден кейін бастапқы және көлденең үлгіде АК7 алюминий қорытпасының микроқұрылымы, х200 есе ұлғайту
Көлденең үлгінің ұсақ түйіршікті құрылымы байқалады

4.5 Электродиттік-плазмалық өңдеу нәтижесінде Д16 алюминий қорытпасының микроқаттылығы мен үйкеліске төзімділігінің өзгеруі

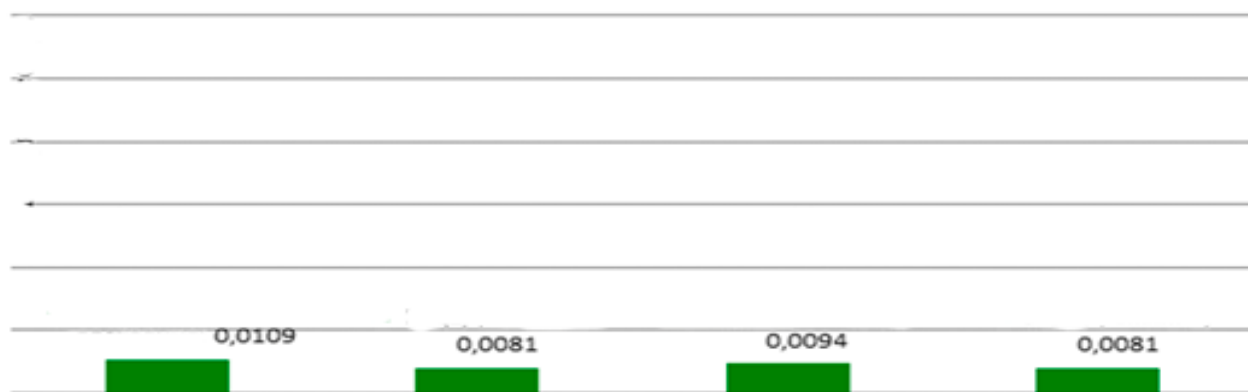
Қаттылығы ұлғайған сайын тозуға төзімділігі жоғарылайды. Қаттылығы жеткіліксіз материалдарда туындайтын кернеу әсерінен, пішіні мен өлшемін жылдам жоғалтады. Қаттылық алюминий қорытпасының химиялық құрамымен және құрылымымен анықталады, ондағы түзілген алюминий тотықтарының α - Al_2O_3 және γ - Al_2O_3 жоғарытемпературалық қатты фазаларының көлеміне тәуелді және олардың маңызды сипаттамаларының бірі болып табылады[106.Б77].

Өңделген үлгілер бетінің микроқаттылығын өлшеу нәтижелері, бастапқы күймен салыстырғанда оның жоғарылауын және барлық өңделген беті бойынша оның біркелкі таралуын көрсетеді. Диаграммада (сурет-47) көрсетілгендей, бастапқы мәнімен салыстырғанда, микроқаттылықтың максималды мәніне 3 режимде өңделген үлгіге ие[107].



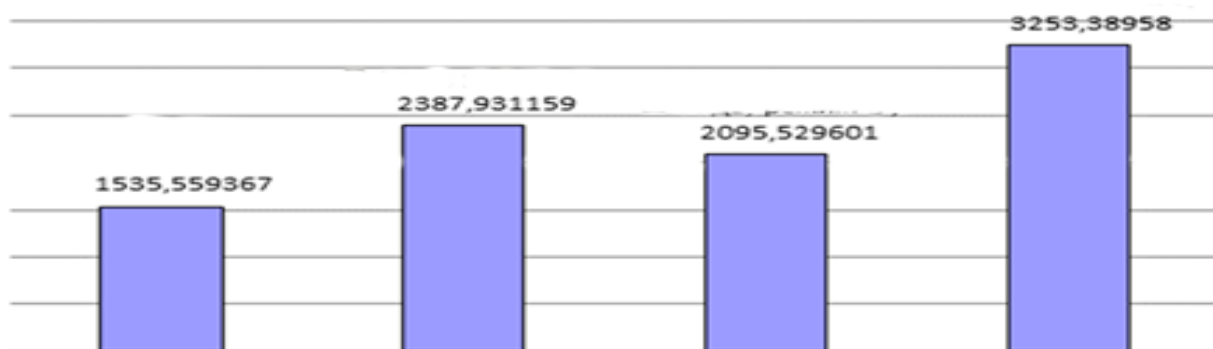
47- Сурет. Әртүрлі режимдерде Д16 үлгісінің микроқаттылығының диаграммасы

Д16 алюминий қорытпасының үлгілерін қажатты тозуға сынау нәтижелері келтірілген. Барлық 3 режимде электродиттік-плазмалық өңдеуден кейін үлгінің масса жоғалымы бастапқыдан төмен.



48- Сурет. Әртүрлі режимдерде қажакты тозу кезінде масса жоғалымының өзгерісі

Масса жоғалымының алынған деректері бойынша Д16 алюминий қорытпасы үлгілерінің салыстырмалы тозуға төзімділігі анықталды (сурет-49). Диаграммадан көрініп тұрғандай, салыстырмалы тозуға төзімділіктің жоғары мәніне 3 режимде өңделген үлгі ие.



49- Сурет.Әртүрлі режимдерде Д16 үлгілерінің салыстырмалы тозуға төзімділігінің өзгерісі

Жоғарыда айтылғандар бойынша келесідей қорытынды жасауға болады. Өңдеу уақыты мен тоқ тығыздығын түрлендіре отырып,ЭПӨ алюминий қорытпаларында қалыптастырылған жабындылардың микроқаттылығын кең аралықта өзгертуге болады. Бұл оларды, әртүрлі шарттарда жұмыс істейтін, алюминий қорытпаларынан алынған бөлшектер бетін беріктендіру үшін қолдану мүмкіндігін береді.

Төртінші тарау бойынша тұжырым

-теориялық және тәжірибелік түрде, Электролиттік-плазмалық өңдеуде Д16 алюминий қорытпасының фазалық түрленуі мен құрылымдық өзгерістеріне, сонымен қатар беріктілігіне әсері зерттелді;

- тәжірибе жүзінде,электролиттік-плазмалық өңдеуден кейін Д16 алюминий қорытпасының үлгілерінің бетінде Al_2O_3 және AlN фазаларының және беріктенетін қорытпаға сәйкес келетін қосындылардың түзілетіні орнатылды, олар микроқаттылық пен тозуға төзімділігінің ұлғаюына әсер етуі мүмкін;

-Электролиттік-плазмалық өңдеу нәтижесінде, Д16 алюминий қорытпасының беттік қабатының микроқаттылығының ауқымды ұлғаюы байқалатыны көрінді;

-Электролиттік-плазмалық өңдеу нәтижесінде Д16 алюминий қорытпасының модификацияланған беттік қабатының қажакты тозуға төзімділігінің ұлғаятыны анықталды;

- Д16 алюминий қорытпасын электролиттік-плазмалық өңдеу кезінде, қалыптасатын беттік қабаттың құрылымына азоттандыру уақыты мен ток тығыздығының әсері байқалды.

5. Ыстыққа төзімді алюминий қорытпаларынан алынған бөлшектерді плазмалық-электролиттікөндеу(ПЭО) технологиясын жасау

Ғылыми және ғылыми-техникалық зерттеу нәтижелерін коммерциалау бағытында орындалған №100-16-ГК - "Отандық шикізаттардан инновациялық алюминий қорытпаларын өндіру және олардың бетінде наноқұрылымды қорғаушы қабаты бар даяр бұйымдар алу" жобасы аясында, 2017-2019 жылдары Қ.И.Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ және «AlakolPlant»ЖШС мамандарының ұжымыметалл қорытпаларын өндіру жәнедаяр бөлшектер мен бұйымдардың бетінде қорғаушыПЭО қабатын алудың өндірістік бөлімшелерін пайдалануға берді (эксплуатацияға енгізді). Диссертант осы жоба бойынша зерттеу тобы құрамында өндірістік бөлімшелерді құру, жаңа, ыстыққа төзімді алюминий қорытпаларын алу, Қазақстан Республикасының мұнай-газ саласында қолданылатын электрлі-ортадан тепкіш насосының (ЭЦН)жұмысшы бөлшектерін ПЭО технологияларын жасауға тікелей қатысты.

Жоба бойынша,металлургиялық өндіріс бөлімшесінде (50 - сурет)Al-Cu-Mn-Zr системасының негізінде жаңа, ыстыққа берік алюминий қорытпасын алу технологиясы іс жүзінде игерілді. Ол үшін өндірістік қондырғыларды іске қосужәне жөндеу жұмыстары, индукциялық балқыту пешінің толық комплексін іске қосу жұмыстары орындалды. Балқыту түйінін, конденсаторлық батареялар блогын электрмен қоректендіру мен суытуды автоматтық бақылаудың барлық жүйелерініңрежимдері, сонымен қатар қорытпаларды балқытудың технологиялық процесін жүргізу режимдерін бақылау жүйелері сынақтан өткізілді.

Жұмысқақосылған металлургиялық өндіріс бөлімшесінде қорытпаларды тәжірибелік және өндірістік балқытып алу жұмыстары жүргізілді. Екі тоннадан астам ыстыққа берік алюминий қорытпалары алынды. Қазақстан Республикасының патентін алуға өтінім берілді, тіркеу № 2020/0423.1.

Даяр бұйымдардың бетіндеқорғаушы ПЭО қабатын алу үшін электролиттік-плазмалық тотықтыру (ЭПТ) қондырғысының комплексы (50 - сурет)іске қосылды. Оның құрамында:

- ЭПТ құрылғысының импульстік токпен қоректену көзі, қуаты 210 кВт;
- микропроцессорлық құралдар негізіндегі автоматты басқару жүйелері;
- көлемі 375 лжәне 405лболатын технологиялық ванналар;
- өнімділігі 50-80 л/сағ болатын бес сатылы таза су алу құрылғысы;
- көлемі 1 куб/м (еврокуб) жинау ыдысы;
- гидромодульді суыту машинасы (чиллер), қуаты 110 кВт;

Сумен қамту, электролиттік ванналар үшін канализация, жылыту жүйелері құрылған. ЭПӨ бөлімшесінің өндірістік ғимаратында, экспресс-талдау зертханасы, химреактивтер қоймасы, дайын өнімдер қойымасы, қосалқы ғимараттар бар және су,электр және желдету жүйелерімен толығымен қамтылған[108].



50- сурет. Металлургиялық өндіріс бөлімшесі.

Диссертант, өндірістік жағдайда, дайын бұйымдар бетіне қорғаушы ПЭӨ қабаттарын алу технологиясын игерді. Алюминий қорытпаларынан ЭЦН насосының бетінде керамикалық қорғашы қабаты бар, ыстыққа төзімді 2000-нан аса жұмысшы бөлшектері алынды.

Қалыпты өнеркәсіптік сынау машинасында жаңа жұмысшы бөлшектер стендік сынақтардан өткізілді. Сынақ барысында, ЭЦН насосы жұмыс ортасының құрамына, физика-химиялық көрсеткіштері мен температурасына байланысты, оның бөлшектерінің механикалық беріктілігі, тозу төзімділігі және коррозияға тұрақтылығы зерттелді.

Өнеркәсіптік сынақтар үшін ЭЦН жұмысшы бөлшектерінің сынамалық үлгілер комплектілері жиналды.

Қ.И.Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ №012825В Еуразиялық патентінің, ЭПӨ құрылғысының және Қазақстанда технологиялық регламенттің жалғыз иегері болып табылады және заңды құқығы бар «Қ.И.Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ» және ООО «Стингрей-Плазма» арасындағы келісім-шарт, 25.12.2017 жыл, №690.

5.1. Ыстыққа төзімді конструкциялық жаңа алюминий қорытпасын алу

Технологиялық өңделу мүмкіндігі жоғары, деформацияланатын жаңа алюминий қорытпасы Al-Cu-Mn-Zr легірілеу жүйесінің негізінде, ғылыми-техникалық №100-16-ГК жобасы бойынша, орындаушылардың алдын ала іргелі

және қолданбалы ғылыми зерттеулерінің нәтижесінде алынды. Бұл, құрылысындамайда дисперсті, көлемдік үлестері жоғары беріктендіргіш фазалар бар, көпфазалы эвтектикалық қорытпа. Термиялық тұрақты Al_3Zr қосылысының және басқа фазалардың нанобөлшектері (кристалдарының өлшемі 5-10 нм) қорытпаның беріктігін арттырып, жоғары температураларда оның беріктілігін сақтауға мүмкін береді [109].

Кесте.31- алюминий қорытпасының химиялық құрамы

Al	Mn	Cu	Zr
94,428% дейін	1,550% дейін	1,281% дейін	0,480% дейін

Зерттеу нәтижелеріне сәйкес, жаңа қорытпаның беріктігімен ыстыққа төзділігі, қолданыстағы кеңінен белгілі, стандарттық, деформацияланатын ыстыққа төзімді АК4-1 алюминий қорытпасының көрсеткіштерінен біршама артық. Жаңа қорытпаның бөлме температурасында аққыштық шегі 300 МПа, ал АК4-1 қорытпасының шегі – 270 МПа болады. 350°С температурада 3 сағат бойы қыздырудан кейін жаңа қорытпаның аққыштық шегі 230 МПа дейін, ал АК4-1 қорытпасының шегі – 70 МПа дейін төмендейді.

Әдетте ЭЦН насостарының жұмысшы элементтері никельді шойыннан (нирезисттен) жасалады. Жоба бойынша, ЭЦН насосының жұмысшы бөлшектерін, никельді шойынның орнына, беріктігінің жоғары көрсеткіштерін, әсіресе жоғары температураларда, ескере отырып, жаңа алюминий қорытпасынан дайындау ұсынылды. Бұл инновациялық сатылары бар насостарға жоғары температурада (270°С) сұйықтықтарды айдау үшін жұмыс істеуге, сонымен қатар фторполимерді пісіру (340°С) кезінде бөлшектердің термиялық өңделу сапасын сақтап тұруға мүмкіндік береді. Мұндай температураларда бөлшектердің беріктігі төмендемейді және керамикалық қорғаушы қабаттың кеуекті құрылымы фторполимерді толық сіңіреді.

Жаңа қорытпаның беріктігінің жоғары болуы оның химиялық құрамының ерекшелігіне (өтпелі металдармен оптималды легіріленген) және арнаулы термиялық өңдеу режиміне байланысты болады.

Жаңа қорытпаның термиялық өңдеу режимдері онша күрделі емес. Ол 350–400°С температура аралығында гетерогенизациялық қыздырып өндеуден тұрады. Гомогенизация және шынықтыру операциялары қолданылмайды. Бұл электр энергиясының тұтыну шығынын біршама азайтуға мүмкіндік береді.

Мұндай физика-механикалық қасиеттері бар қорытпа түйіршіктер металлургиясы технологиясының көмегімен алынуы мүмкін. Алайда түйіршіктелген қорытпалар өте қымбат.

Жаңа қорытпа тиімді легіріленген. Ондағы легірілеуші элементтердің қосынды мөлшері 3-4 % аспайды.

Қорытпа технологиялық өңделуге икемді. Оны суықтай қысыммен өндеуге болады. Кесумен жақсы өңделеді. Тығыздығы жоғары керамикалық ЭПӨ қабатының қалыптасуын қамтамасыз етеді.

5.2. Ыстыққа төзімді алюминий қорытпаларынан жасалған бөлшектерді плазмалық-электролиттік өңдеу технологиясын жасау

Плазмалық-электролиттік өңдеу (ПЭӨ) технологиясының мәні - сулы электролитте ұшқынды разрядтардың (плазманың) әсерінен алюминий қорытпасынан жасалған бөлшектердің бетін алюминий тотығы күйіне дейін тотықтыру болып табылады. Пайда болатын керамиалық беткі қабаттар комплексті қорғаушы қасиеттерге ие болады. Қорғаушы қабаттың қаттылығы мен беріктігі жоғары, ыстыққа төзімді және басқа айырықша қасиеттері бар. Мұндай қасиеттерді басқа өңдеу тәсілдерімен іске асыру мүмкін емес.

Өнеркәсіптік тоқ жиілігінде 50 гц қоректендіру көзін пайдаланатын ЭПӨ, МДТ (микро доғалы тотықтыру) деген аттармен кездеседі және олар 20 жылдан астам белгілі дәрежеде кеңінен өндірістік қолданыс таппады. Оның себебі технологияның айқын кемшіліктері болып табылады: өнімділігі төмен (1мкм/мин), энергия шығыны жоғары, керамикалық қорғаушы бет екі қабаттан тұратын болады және қосымша технологиялық операцияларды қолдану қажет болады. Қалыңдығы 90-130мкм болатын сапалы қорғаушы қабат алу үшін керекті өңдеу уақыты 2-3 сағаттан артады.



51 - сурет. Плазмалық - электролиттік тотықтыру бөлімшесі.

МДТ технологиясымен алынған күрделі қорғаушы қабат, оның жалпы қалыңдығының 35-45% құрайтын сыртқы кеуекті, ақаулы қабаттан және ішкі тығыз, сапалы қабаттан тұрады. Сыртқы ақаулы қабаттан құтылу үшін, қымбат тұратын тегістей өндеу құрал-жабдықтарын қолдана отырып, ауқымды жұмыс

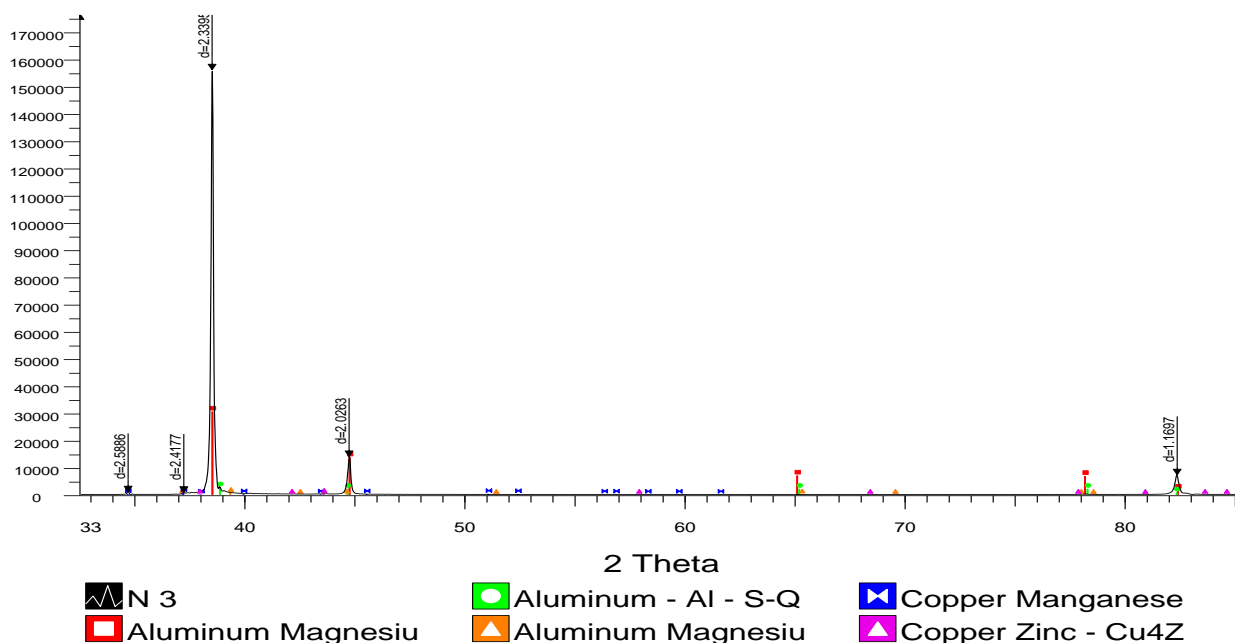
атқару керек. Бірақ ЭЦН насостарын бөлшектерге бөлу, оларды қайта жинау, формасы күрделі бөлшектердің сыртқы бетін өңдеу өте қиын жұмыс. Осыған байланысты МДТ процесі өнеркәсіптік жиілікте энергияны көп талап етеді және сериялық өндіріс үшін тиімсіз болып келеді.

Ұсынылып отырған заманауи ПЭӨ технологиясы №012825 Еуразиялық патентке сәйкес, аса жоғары өнімділігімен, энергия шығындарының төменділігімен және алынатын керамикалық қорғаушы қабаттың жоғары сапасымен ерекшеленеді [110].

ПЭӨ технологиясы жоғары вольттік, жиілігі жоғары, уақыты бойынша ультрақысқа (15-100 мкс) және жеткілікті дәрежеде күшті биполярлы тоқ импульстары мен арнаулы электролиттің айырықша құрамын пайдаланылуға негізделген. Плазмалық энергияны, тоқ импульстарының ұзақтығы мен қуатының оңтайлы қатынасын қамтамасыз ете отырып, микропроцессор басқарады.

Материалдың нанодисперсті тотыққан микрокөлемдерін қыздыру, балқыту мен суыту процесстерінің жоғары жылдамдығы материалдың бетінде қажетті құрылымның түзілуін қамтамасыз етеді. Қорғаушы қабаттағы алюминий тотықтары кристалдарының өлшемдері 10-100 нм болады. Олардың микроқаттылығы 1200 – 1600 НВ аралығында болады.

ПЭӨ қорғаушы қабатының беріктігі мен қаттылығы жоғары және сонымен бірге пластикалық қасиеттері де жеткілікті дәрежеде жоғары болып келеді. Тығыз қапталған тотықтардың нанокристалдары абразивті бөлшектердің динамикалық күштердің әсерінен микро және макробұзылуларына жақсы кедергі болып табылады.

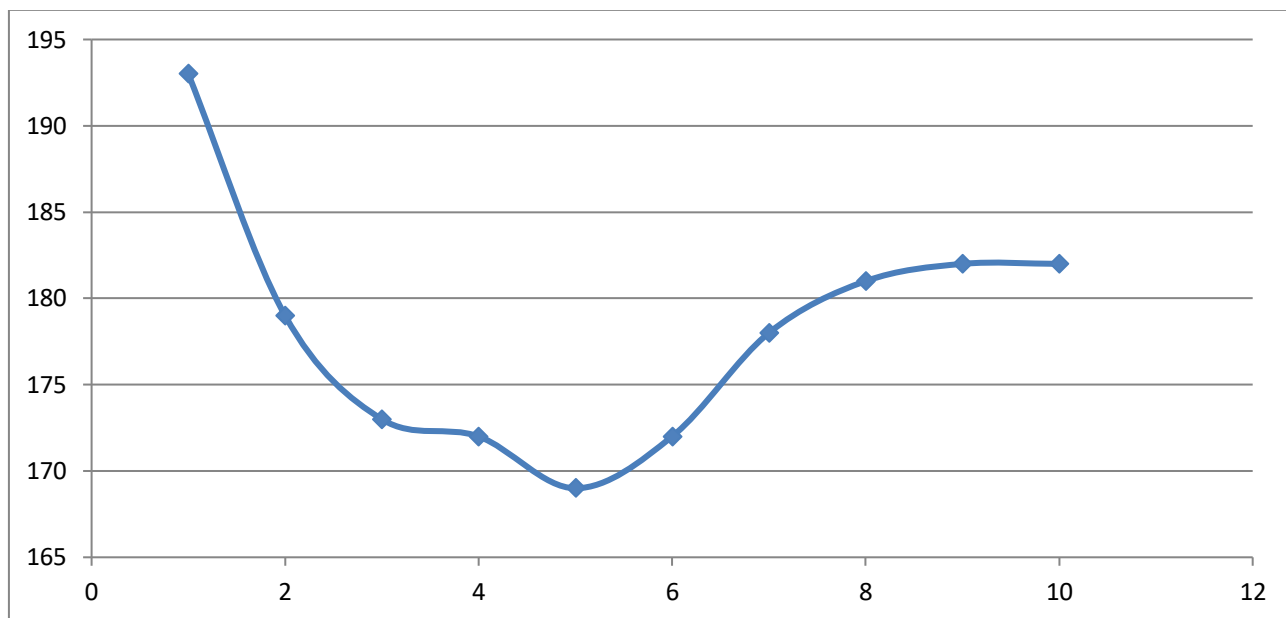


52-Сурет. Беткі қорғаушы ПЭӨ қабаттың фазалық құрамы.

ЭПӨ жаңа технологиясы беттік тотықтыру процесінің өнімділігін 2-3 есе арттыруға және аса тегіс, әрі тығыз қорғаушы қабаттарын алуға

мүмкіндік береді. Қорғаушы қабаттың бет-бедерінің көрсеткіші R_a 0,8-1,0 мкм және бөлшектердіңөлшемдерінің ПЭӨ кезінде өзгеріссіз қалуы қосымша өңдеуді қажет етпейді.

Алюминий қорытпасы бетінде қалыңдығы 50-70 мкм керамикалық ПЭӨ қорғаушы қабаты 25-30 минут ішінде қалыптасып үлгереді. Бұл сериялық өндіріс талаптарына сәйкес келеді.



----- x, мкм (үлгінің бетінен ортасына қарай қашықтық).

53 -Сурет. Беткі қорғаушы ПЭӨ қабатының қаттылығы.

Керамикалық қорғаушы қабаттарға қосымша жаңа қасиеттер беру үшін олардың кеуектерге сіңген полимеркерамикалық қабаттың тұтастығын қамтамасыз етеді, Соның нәтижесінде коррозияға, соққыға және үйкеліске төзімділігі жоғары, композициялық қорғаушы қабат пайда болады [111].

Бөлшектерді пайдалану кезінде керамикалық қабат механикалық күштердің әсерін, абразивтік үйкеліс кедергісін өзіне қабылдайды. Ал керамикалық қорғаушы қабаттың микрокеуектерінде орналасқан фторполимер металды агрессивті ортаның әсерінен қорғайды және антифрикциялық майлау қызметін атқарады.

Керамикалық қорғаушы қабаттың бетінің тегістігі мен ондағы фторполимердің болуы онда әртүрлі тұздардың шөгуіне кедергі жасайды. Мұндай өңдеуден өткен бөлшектің беті, онымен жанасатын сұйықтық ағынға көрсететін гидравликалық кедергісінің минимал болуын қамтамасыз етеді.

Алюминий қорытпаларынан жасалған бөлшектерде қорғаушы керамикалық қабаттарын қолдану, абразимды-құрамды және коррозиялы-активті сұйықтарды айдау кезінде ЭЦН бөлшектерінің үйкеліске және коррозияға төзімділігін арттырады, ЭЦН насостарының жұмыс істеу немесе аралық жөнделу мерзімдерінің кемінде 3-4 есе артуын қамтамасыз етеді.

5.3.ЭЦН жұмысшы бөлшектерін алюминий қорытпасынан дайындаудың жаңа технологиясы

ЭЦН жұмысшы бөлшектерінің өндірісінде алюминий қорытпасының қолданылуы олардың дайындалу технологиясын түбегейлі ықшамдатады. Технологиялық операциялардың саны қысқарады, демек, бөлшектер дайындауға қажетті еңбек пен өзіндік құны да азаяды.

ЭЦН бөлшектерін дайындаудың жаңа технологиясы келесі операциялардан тұрады:

- деформацияланған жартылай фабрикаттан алюминий дайындамасын алу;
- жоғары нақтылықпен механикалық өңдеу;
- керамикалық ПЭӨ қорғаушы қабатын алу;
- керамикалық қабатты фторполимермен қанықтыру.

Жаңа технологияның ерекшелігі - алюминий қорытпасынан жасалатын бөлшектерді жоғары дәлділікпен механикалық өңдеу арқылы алу болып табылады.

Жаңа алюминий қорытпасын(диаметрі 80 мм дейін шыбықшалар немесе диаметрі 85-125 мм штампталған дайындамалар), легірленген шойындарды өңдеу кезіндегі кесу жылдамдығымен салыстырғанда 5-6 есе жоғары жылдамдықпен өңдеуге болады.



54-Сурет. Жаңа алюминий қорытпасын ЭЦН жұмысшы бөлшектері.

Тіпті күрделі формалы бөлшектер жоғары дәлдікпен (6-7 квалитет) және бетінің тазалығымен (Ra 0,63-0,80 мкм) заманауи ЧПУ қондырғыларының жылдамдығы жоғары білдектерінде жылдам өңделеді. Өңдеу соңғы берілген өлшемдерге жүргізіледі. Ары қарай бөлшектің бетін тотықтыру кезінде олардың өлшемдері өзгермейді (керамикалық қабат металдың ішіне қарай өседі)[112].

Керамикалық қабаттың микрокеуекті құрылымын (кеуектің орташа өлшемі шамамен 1 мкм, диаметрмен) фторполимермен қанықтыру операциясын жүргізу. Тотыққан бөлшектерді (бөлшектер өлшемі 0,4-0,6 мкм) сулы суспензиясымен толтырылған ультрадыбыстық ваннаға орналастырады және 20 минут бойына ұстап тұрады. Кеуекті газсыздандыру және полимер бөлшектерінің кеуекке тереңінен енуі үшін ультрадыбысты қолданады. Одан кейін бөлшектерді полимерлеу пешіне орналастырады, мұнда оны 340°C дейін қыздырады және осы температурада 1 сағат бойы ұстап тұрады. Фторполимермен қанықтыру процесі қарапайым және ауқымды шығындық ажет етпейді.

ЭЦН бөлшектерін дайындаудың инновациялық технологиясы технологиялық операциялардың аз санымен, жоғары өнімділігімен және экологиялық қауіпсіздігімен ерекшеленеді [113].

Күтілетін нәтижелер. Ыстық қатөзімді алюминий қорытпалары өндірісінің жаңа технологиясын өндірістік жағдайда игеру және коммерциализациялау, олардан нанокұрылымдық керамикалық қорғаушы қабаты бар машина бөлшектерін жасау жоспарлануда. Принципиалды жаңа материалдан жаңа технологиялар бойынша дайындалған ЭЦН арзан, жеңіл және сенімді бөлшектерін жасау өндірісі құрылатын болады. ЭЦН жаңа бөлшектерінің қолданылуы, күрделі ұңғымалар қорынан мұнай алу тиімділігін арттыруға және 1 тонна мұнайға кететін шығын деңгейін азайтуға және мұнай өндірудің максималды мүмкін көлемін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

ЭЦН жаңа жұмыс бөлшектерін Қазақстан, Ресей және Азербайджанның мұнай өндіру немесе сервистік компанияларына стандартты бөлшектер құнына жақын бағамен сату болжануда.

Зерттеу нәтижелерін қолданылу салалары: мұнай- газ және энергетикалық құбырөткізгіштер, машина жасау, полиграфия.

Техникалық нәтижелер: негізгі техникалық нәтижелерге отандық шикізаттан алынатын конструкциялық алюминий қорытпалары, бетінде қорғаушы нанокұрылымдық керамикалық қабаты бар, алюминий қорытпасынан жасалған мұнай насостарының бөлшектері және инновациялық технологиялар.

Жаңа өнімдердің дүниежүзі бойынша аналогтары жоқ және республикамыздың өңдеу салаларының бәсекеге қабілеттілігін арттыруға әсер етеді. Жоғары құн қосылған, терең өңделген алюминий өнімінің (цилиндрлі құймалар, деформацияланған жартылай фабрикаттар) шығарылуы республикада қорытынды өнімнің жоғары технологиялық өндірістерін сапалы жаңа қорытпалармен қамтуға, сонымен қатар оны ішкі және сыртқы нарыққа

шығаруға мүмкіндік береді. Қорғаныш жабындысы бар жаңа алюминийлі сатылармен жабдықталған мұнай насостарының жоғары тиімділігі, Қазақстан мұнайшыларына мұнай алу қарқындылығын жоғарылатуға және 1 тонна мұнай алу шығынын төмендетуге мүмкіндік береді. Қара металдан жасалған стандартты сатылармен салыстырғанда насостардың жаңа сатыларының жұмыс істеу қабілеттілігі, сол дайындау өзіндік құны бойынша 3-4 есе артады. Жаңа өнімнің жоғары қосылған құны, оныңмұнай өндіру елдеріне, ең бастысы, Ресей, Азербайджан,Түркменстанға жоғары рентабельді экспортын қамтамасыз етеді.

Нәтижесінде жаңа технологиялардың игерілуі мен қара металдардың жеңіл және берік алюминий қорытпаларына алмастырылуы энергоресурстардың негізделген үнемділігіне және қоршаған ортаға зиянды тасталындылардың ауқымды қысқаруына әкеледі.

Қорытынды

1) Электродиттік-плазмалық өңдеу кезінде металл бұйымдардың беткі қабатының фазалық құрамы мен құрылысының және қасиеттерінің өзгеру механизмі анықталды. Жоғары температуралық плазманың құрамында пайда болатын легірлеуші элементтер иондары, көміртегі, оттегі, азот және басқа қоспалардың иондары металл бұйымдардың беткі қабатына еніп, аса үлкен жылдамдықпен суытқанда интерметаллиттік фазалардың, карбидтердің, окситтердің, нитриттердің және басқа фазалардың наноөлшемді түйіршіктерін құрады. ЭПО кезінде металдың беткі қабаттарында негізгі және легірлеуші элементтер атомдары тотығып, наноөлшемді оксидтер кристалдары құрылады.

2) Аз көміртекті болат бұйымның электродиттік-плазмалық өңделген беткі қабатының құрылысы мен қаттылығы ЭПО-дің режимдеріне байланысты болады. Болат үлгілерінің беткі, қалыңдығы 100мкм ге жететін өңделген қабатының құрылысы темірдің негізінде қатты ертіндінің (α -Fe) карбидтердің және интерметаллидтердің наноөлшемді кристалдарынан тұрады (оптикалық микраскопта бұл кара түсті ең сыртқы қабат). Оның астында мартенситтің ине тәрізді кристалдарынан тұратын қабат, ол одан әрі болаттың ішкі перлит-ферриттік құрылысына өтеді. ЭПО-дан өткен қабаттың жалпы қалыңдығы 1000-1700мкм ге жетеді.

3) ЭПО кезінде болаттың беттік қабатының сапасына әсер ететін негізгі факторлар: қыздыру уақыты, шынықтыру уақыты мен ток кернеуі болып табылады. Бұрғы құрал-жабыдығын жасауға арналған болаттарды электродиттік-плазмалық өңдеу кезінде беткі қабаттың қызу температурасының (Т) қыздыру уақытына (t), ток кернеуінің шамасына (U) және өңделген қабаттың қалыңдығына (x) байланысты өзгеруінің математикалық моделі: $T=4,5 \cdot x \cdot t^2 + 4,8 \cdot U - 18 \cdot t^2 = (4,5 \cdot x - 18) \cdot t^2 + 4,8 \cdot U$.

4) Металлдар мен қорытпаларды электродиттік-плазмалық өңдеуге арналған жаңа тәжірибелік қондырғы жасалып, іске қосылды. Тәжірибелік қондырғының көмегімен аз көміртекті легірленген болаттар мен алюминий қорытпаларын термоциклдық электродиттік-плазмалық өңдеу режимдері анықталды.

5) Беттік қаттылығы мен шыныққан қабат қалыңдығының электродиттік-плазмалық өңдеу режиміне тәуелділігі анықталды. Болат электродиттік-плазмалық өңдеуден кейін, оның қаттылығы бастапқы күйімен салыстырғанда 1,25 есе жоғарылайды; үлгілердің абразивті тозу төзімділігі, «УЗПА» АҚ технологиясы бойынша өңделген үлгілердің үйкеліске төзімділігінен артық болады.

6) Болатты электродиттік-плазмалық өңдеудің тиімділігі жоғары, энергия үнемдеуші және экологиялық таза технологиясы жасалды.

7) Мұнай-газ өндірісінде қолданылатын «Колонна жабдығының» бөлшектері үлгілерін ЭПО үшін арнаулы тәжірибелік - зертханалық қондырғы жобаланып, іске қосылды. Түсті металл – алюминий қорытпаларының беттік беріктілігі мен үйкеліске төзімділігін арттыратын, энергия үнемдеуші және экологиялық таза ЭПО-дің технологиялық процесі және оны өндіріске

ендірудің техника-экономикалық негіздемесі жасалды.

8)Қ.И.Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ және «AlakolPlant»ЖШС мамандарының ұжымыметалл қорытпаларын өндіру жәнедаяр бөлшектер мен бұйымдардың бетінде қорғаушыПЭО қабатын алудың өндірістік бөлімшелерін пайдалануға берді.

Қойылған міндеттердің толық шешілуін бағалау.

Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде, диссертациялық жұмыста қойылған мақсатқа қол жеткізілді және ғылыми-тәжірибелік міндеттер шешілді:

азлегірленген болаттың фазалық құрамының, құрылымы мен қасиеттерінің өзгеру заңдылықтарын зерттеу негізінде болат бөлшектерді электролиттік-плазмалық өңдеудің ғылыми негізделген, тиімділігі жоғары, энергия үнемдеуіш және экологиялық таза технологиясы жасалды.

Электролиттік-плазмалық өңдеу қондырғысы жобаланды және дайындалды, тәжірибелік-зертханалық сынақтар жүргізілді. Сынақ нәтижелерінің көрсетуі бойынша, ЭПӨ кезінде мұнай-газ қондырғылары бөлшектерінің беттік беріктілігі мен үйкеліске төзімділігі жоғарылайды, өзіндік құны мен энергия сыйымдылығы төмендейді, экологиялық қауіпсіздік артады.

Нәтижелердің нақты пайдаланылуы бойынша ұсыныстар мен бастапқы деректерді жасау.

Диссертацияда алынған теориялық және тәжірибелік зерттеу нәтижелері, әртүрлі болат маркаларынан жасалған мұнай-газ жабдықтарының бөлшектерін беттік беріктендірудің жаңа технологиясын жасау үшін тәжірибелік негіз болып табылады. Болат дайындамалардың беттік қабаттарының сапасын арттыру үшін өңдеу режимдерін оптимизациялау бағытында ұсынылған шаралар, сонымен бірге, түсті металл-алюминий қорытпаларын электролиттік-плазмалық өңдеу технологиясы «УЗПА»АҚ мен «AlakolPlant»ЖШС және Қазақстан Республикасының өзге машина жасау зауыттарында пайдалануға ұсынылады.

Орындалған жұмыстың нәтижелерін өндіріске енгізу техникалық-экономикалық тиімділігін бағалау.

Мұнай-газ жабдықтары бөлшектерін беттік электролиттік-плазмалық беріктендірудің ұсынылып отырған технологиясы инновациялық жоба деңгейінде жасалған. Ұсынылып отырған технологияны өндіріске енгізуден, жылына 25000 дана бөлшек шығаратын өндіріс орны үшін 103,39514 млн. тенге экономикалық тиімділік күтуге болады.

Осы саладағы үздік жетістіктермен салыстырғанда орындалатын жұмыстың ғылыми деңгейін бағалау.

Алғаш рет, ЭПӨ режимдеріне аз легірленген болаттан жасалған мұнай-газ жабдықтарының беттік қабатының фазалық құрамы мен құрылысының өзгеру заңдылықтары зерттелді. Өңдеу процесінің негізгі ретінде технологиялық көрсеткіштері арасында аналитикалық тәуелділіктер алынды және

электролиттік-плазмалық беріктендірудің тиімділігі жоғары технологиясы ұсынылды.

Ғылыми зерттеулер нәтижелерінің дұрыстығы.

Теориялық зерттеу нәтижелерінің дұрыстығына математикалық модельдеу шарттарының дұрыс қойылуымен, аналитикалық тәуелділіктердің негізінде пайдаланылуымен, сонымен қатар заманауи математикалық талдау әдістері мен есептеу техникасының қолданылуымен қол жеткізілді. Теориялық зерттеулер нәтижелері, «Axioscop - 2MAT» оптикалық микроскобы, JEOL (Жапония) фирмасының JSM-6390LV растрлы электронды микроскобы, «PANalytical» фирмасының «X'Pert PRO» рентгенді дифрактометрі, METAM LB-31 микроқұрылым суреттерін компьютерлік талдағыш, механикалық қасиеттері мен тозу төзімділігін анықтау құралдары сияқты заманауи құралдар мен физикалық материалтану жабдықтарының, сонымен қатар тәжірибелік-зертханалық электролиттік-плазмалық өңдеу қондырғысының көмегімен алынған, тәжірибелік деректермен расталған.

Пайдаланган әдебиеттер тізімі

- 1 Сорокин В.Г., Волосникова А.В., Вяткин С.А. и др. под общей редакцией В.Г. Сорокина. Марочник сталей и сплавов – М. Машиностроение 1989, 640 с.
- 2 Геллер Ю., А.Г. Рахштадт. Материаловедение. Издание 6-е, переработанное и дополненное – М; МЕТАЛЛУРГИЯ, 1989. – 456 с.
- 3 Новиков И.И. Теория термической обработки металлов. учебник 2-е издание. М. С.А. Металлургия, 1974. 400 с.
- 4 Блантер М.Е. Теория термической обработки./Учебник для вузов. М. Металлургия, 1984 328 с.
- 5 Журнал №4 1977г. А.П. Гуляев, Л.Н. Серебринников ЦНИИЧЕРМЕТ им. И.П. Бардина// Влияние разноразмерности на механические свойства стали 18Х2Н4МА Материаловедение и термическая обработка металлов. Журнал №4 с 3-5.
- 6 Под редакцией Бернштейна М.Л., Рахштадта А.Г. М. Металловедение и термическая обработка стали: Справочник. Издание – 3-е, переработанное и дополненное В 3-х томах. Том 2. Основы термической обработки// Металлургия, 1983, 368 с.
- 7 Ясногородский И.З. В сборнике: электрохимическая и электромеханическая обработка металлов. М. Машиностроение, 1971, с. 117.
- 8 Погребняк А.Д., Тюрин Ю.Н., Кылышканов М.К. Электролитно-плазменная обработка и нанесение покрытий на металлы и сплавы. Обзор.
- 9 Федюкин В.К. Термоциклическая обработка сталей и чугунов. - Ленинград 1997. - 144 с.
- 10 Супов А.В., Канев В.П., Одесский П.Д. и др. Металловедение и термическая обработка стали и чугуна. – М. Итермет Инженеринг, 2007. Т. 3 – 920 с.
- 11 Погребняк А.Д., Тюрин Ю.Н., Бойко А.Г. Электролитно-плазменная обработка и нанесение покрытий на металлы, и сплавы// Успехи физики металлов, Киев НАН Украины – 2005. – Т. 6. – с. 273.
- 12 Лещинский Л.К., Смотугин С.С., Пирч И.И.// Плазменное поверхностное упрочнение. Киев: Техника, 1990. – 109 с.
- 13 Ющенко К.А., Борисов Ю.С., Тюрин Ю.Н., Теория и практика импульсно-плазменного модифицирования поверхности деталей машин и инструмента.// Сварочное производство. - Киев, , 1994, №5 С.23-25.
- 14 McNeill. W., Nordbloom G.F, US Patent 2854390, September 30 (1958).
- 15 G.A. Markov, G.V. Markova, USSR Patent 526961, Bulletin Inventor 32 (1976).
- 16 Гордиенко П. С. Образование покрытий на анодно поляризованных электродах в водных электролитах при потенциалах искрения и пробоя. Владивосток: Дальнаука, 1996. 215 с.
- 17 黄志鹏, 铜合金的电解质—等离子抛光方法的研究, 哈尔滨工业大学, 2012, TG146.11.

- 18 Марков Г А Слонова А. И., Терлеева О. П.//Защита металлов. 1997. № 3. С. 289 –294.
- 19 Черненко В.И., Снежко Л.А., Папанова И.И., Литовченко К.И./Теория и технология анодных процессов при высоких напряжениях. Киев. Наукова Думка. 1995. 196 с.
- 20 Черненко В.И., Снежко Л.А., Папанова И.И. Получение покрытий анодно-искровым электролизом, Л. Химия, 1991. 128 с.
- 21 L.A. Snezhko, V.I. Tchernenko, *Electronic Obrab. Material* (2): 25 (1983), in Russia.
- 22 Кыльшканов М.К., Комбаев. К.К., Методы поверхностного упрочнения деталей на основе электролитно-плазменной обработки .Вестник „№4 ВКГТУ им Д.Серикбаева, Усть-Каменогорск, 2008., с59-61.
- 23 Kurze P., Baneryc D., and H.J. Kleze., Method of producing oxide ceramic laeers on barrier Layer-forming metals and articles produced by zhemethod. U.S. Patent No. 5385662. 1995.
- 24 Kurze. P and Kletze H.J, Method of producing articles of aluminium .Magnesium or titanium with an oxid ceramic layer filled with fluorine polymers. U.S. Patent No. 5487825. 1996.
- 25 Snizhko L.O., Yerokhin A.L., Pilkington A., Gurevina N.L., Misnyankin D.O., Leyland A., Matthews. Anodic Processes in Plasma electrolytic oxidation of aluminium in alkaline solutions. *Electrochimica acta* 49(2004)2085-2095.
- 26 V.V. Bakovets , O.V. Polyakov, I.P. Dolgovsova , Plasma Electrolytic anode treatment of metals, Nauka Novosibirsk 1991 (in Russian, ISBN 5-02-029248-6)
- 27 Ясногородский Я.З. Автоматический нагрев в электролите // М. Оборонгиз -1947-24 с.
- 28 V.A. Fyedorov, V.V. Belozarov, N.D. Velikosel'skaya, S.I. Bulychev, *Fiz. Khim. Obrab. Materialov* 4: 92 (1988), in Russian.
- 29 V.S. Rudnev, P.S. Gordienko, preprint no. 3384-B87, Inst. Khimii DVO AN SSSR, Vladivostok (1987) in Russian.
- 30 P.S. Gordienko, P.M. Nedorozov, L.M. Volkova, T.P. Yarovaya, O.A. Khrisanfova, *Zashch . Met.* 25 (1): 125 (1989), in Russian.
- 31 P. Kurze, W. Krysmann, G. Marx, *Z. Wiss, Tech. Hochsch. Karl-marx-Stadt* 24: 139 (1982).
- 32 K.H. Dittrich, W. Krysmann, P. Kurze, H.G. Schneider, *Cryst. Res. Technol.* 19 (1): 93 (1984).
- 33 W. Krysmann, P. Kurze, K.H. Dittrich, H.G. Schneider, *Cryst. Res. Technol.* 19 (7): 973 (1984).
- 34 P. Kurze, J. Schreckenbach, T. Schwarz, W. Krysmann, *Metallob-erflaeche* 40 (12): 539 (1986).
- 35 R.J. Gradkovsky, S.N. Bayles, US Patent 3 956 080, May 11 (1974).
- 36 S.D. Brown, K.J. Kuna, T.B. Van, *J. Am. Ceram. Soc.* 54 (8): 384 (1971).
- 37 T.B. Van, S.D. Brown, G.P. Wirtz, *Am. Ceram. Soc. Bull.* 56 (6): 563 (1977).

38 А.Д. Погребняк, О.П. Кульментьева и др. // Процессы массопереноса и легирования при электролитно-плазменной обработке чугуна. // Письма в ЖТФ. Том 29, выпуск 8, 2003, Сумы, Украина, с 2-6.

39 Гарькавый Н.И., Головенко С.И., Дуда И.М. Упрочнение шеек крупногабаритных коленчатых валов Тюрин Ю.Н. Институт электросварки НАН Украины, Киев, Украина АООТ «Первомайскдизельмаш», г. Первомайск, Украина.

40 何泳仪. 甲醇对等离子体电解氧化的影响及等离子体电解氧化制备 TiO₂/ZrO₂ 双金属氧化膜研究. 华南理工大学. 2015 TB383.2; TG174.

41 Тюрин Ю.Н. А.С. СССР № 1312974 // МКИ4 С 21 D 1/78. Способ термической обработки изделий. Приоритет от 11.04.84.

42 Tyurin Y.N., Pogrebnyak A.D. Electric heating using a liquid electrode // Surface and Coatings Technology 142-144 (2001) 293-299.

43 Барабанцев Г.Е., Тюляпин А.Н., и др Патент RU № С21D9/24. Устройство для закалки дисковых пил. ОАО «Северсталь».

44 Плеханов Г.В., Терентьев С.Д., Хомутов С.О. Исследование электролитно-плазменного процесса // Ползуновский альманах 1, 2001. с 10-19.

45 Данильченко В.Е., Полищук Б.Б. Лазерное упрочнение технического железа. // Физика металлов и металловедение. – 1998. – 86. №4. – с. 124-128.

46 Сапрыкин В. Д. и др. УЗССР. Известия Серия физико-математических наук, 1965, № 1, с. 76.

47 Анагорский Л. А. В сборнике: Новое в электрофизической и электрохимической обработке металлов. М. Машиностроение, 1966, с. 124.

48 Eichhorn E. Metallobenflache, 1968, № 7; Metall, 1972, N 2, p. 110

49 Терентьев С. Д., Плеханов Г. В. Исследование “аномального” электролиза в растворах солей и его практическая реализация. // Вузовская наука в современном мире: Тезисы докладов международной научно-технической конференции. Рубцовск, 1999, с 76-77.

50 Қожа.Е., Смагулов.Д.У., Достоева.А.М., Электролитті-плазмалық қондеуден кейін болаттың беттік қабатының химиялық құрамының өзгеруі. Алматы 2014. ISBN 978-601-228-654-0. 215-221 Б.

51 Терентьев С.Д., Плеханов В.Г., Плеханов Г.В. Перспективы электролитно-плазменной обработки металлов. // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири: 6-я международная научно-практическая конференция. Тюмень, 2000, с. 63-64.

52 Электрический разряд в электролитах, источник неравновесной плазмы при атмосферном давлении // Д.И. Словецкий, С.Д. Терентьев Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН. 119991 Москва, Ленинский проспект 29, с. 2-3.

53 А.Д. Погребняк, М.К. Кылышканов, Д.Л. Алонцева. // Структура и свойства поверхностей материалов и композитных покрытий до и после воздействия концентрированными потоками энергии / Усть-Каменогорск, ВКГТУ, 2008. – 296 с.

54 Погребняк А.Д., Кылышканов М.К. Тюрин Ю.Н., Бойко А.Г.,

Жадкевич М.Л., Рузимов Ш.М.//Успехи физики металлов, НАН Украины, Киев, 2005, том 6. С. 273-344.

55 Погребняк А.Д., Кылышканов М.К., Алонцева Д.Л., Понарядов В.В., Шипиленко А.П. Структура и свойства алюминиевых сплавов после обработки концентрированными потоками энергии.//«Физическая инженерия поверхности», г. Харьков, НАН Украины, том 5, № 1-2. - 2007 г. – С. 34 – 49.

56 Кылышканов М.К.//Вестник ВКГТУ, Усть-Каменогорск, 2004. №3. С. 127-133.

57 Тюляпин А.И., Тюрин Ю.Н., Трайнов А.И./МиТОМ, - №1, - 1998. –С. 9-10.

58 Еретнев К.Н., Лебедев СВ. Процессы нагрева и очистки поверхности металлов в электролите и их практическое использование. Липецк -1997.-150 с.

59 А.С. СССР № 1312974/МКИ 4 С 21 D1/78. Способ термической обработки изделий. Приоритет от 11.04.84.;

60 Патент России №2138564/МКИ6 С 21 D9/24. Способ упрочнения пины. Приор. 30.03.98. Бюллетень №27 от 27.09.99.

61 Pogrebnjak A.D., Kylyhkanov M.K., Gritsenko B.P., Duvanov S.M., Pogrebnjak N.A., Ponaaryadov V.V.//Technical Physics Letters, Moscow, 2006, Vol.32, №12, pp. 1060-1063.

62 Абрашитов В. Г. Моделирование высокодозной ионной имплантации в металлы в условиях науглероживания поверхности.//ФХОМ, №1, 1994. - С.21-26.

63 Denis S. Revue de Metallurgie CIT/Science et Genie des Materiaux, fevrier (1997), p. 157-175.

64 Федосов С.А. Компьютерная программа для расчета параметров термического цикла при импульсном поверхностном нагреве. //Материалы и упрочняющие технологии – 99/ V11 Российская научная техническая конференция, 6-8 окт. 1999. Курск, с. 31-33.

65 李成新, 宁先进, 李长久, 等离子喷涂结合致密化工艺制备 SOFC 电解质层。教育骨干教师基金项目(立项时间 2000 年 3 月): TM911.4.

66 Rödel J. Werkstoffphysikalische Model für das Randschichthärten von Stahl. (Физические модели поверхностной закалки сталей). //НТМ: Härter. techn. Mitt. –1999, -54,N4. -с. 230-240.

67 Боярская Ю.С., Грабко Д.З., Кац М.С. Физика процессов микроидентирования. – Кишинев: Штииница, 1986. – 295 с.

68 Баранова Л.В., Демина Э.Л. Металлографическое исследование металлов и сплавов. Справочник. – М. Металлургия, 1986. - 256 с.

69 Комбаев К.К., Кылышканов М.К., Лопухов Ю.И. Влияние электролитно-плазменной обработки стали 18ХНЗМА-Ш на поверхностную микроструктуру и твердость.//Журнал Сибирского федерального университета, серия «Техника и технологии», №2 (4), Красноярск, 2009., Россия. С. 394 – 399.

70 Кылышканов М.К., Комбаев К.К. Исследование структуры и свойств поверхности стали после электролитно-плазменной

обработки.//международная научно-практическая конференция «Валихановские чтения 12», том 7. Кокшетау, 2007. с. 286-289.

71 Липчин Н.Н. – Труды.//Пермский политехнический институт Пермь: 1974, выпуск 148, с. 5-21. Зельдович В.И., Самойлова Е.С., Дорошенко А.В. ФММ, 1973, т. 35. выпуск 1, с. 125-133.

72 В.К.Лебедев, Д.М. Калеко.//Импульсная дуговая термическая обработка поверхности металлов. МиТОМ. Журнал №6 1998г, с 8-10.

73 Yerokhin A.I., Nie X., Leyland A., Matthews A., Dowe S.J. Surface and Coating Technology. 122. 1999. P. 73-93.

74 Перевод с немецкого Под редакцией Елютина О.П. – М. Практические вопросы испытания металлов. - Metallurgia, 1979. – 280 с.

75 Попилов Л.Я., Зайцева Л.П.//Электрополирование и лезэлектротравление металлографических шлифов -М. Metallurgia, 1963, 125 с.

76 Никитин В.Н., Еретнов К.И., Артемьев А.В.//Электронная обработка материалов. - М. Metallurgia, 1983. - №2. - С.35-37.

77 权成。阴极等离子电解沉积金属合金及复合涂层的研究, 北京科技大学. 2016. TG174.48

78 Григоревич В.К.//Твердость и микротвердость металлов. - М. Наука, 1976. – 230 с.

79 Комбаев К.К., Скаков М.К., Путренко Н.Ф., Заключение о выдаче патента на полезную модель «стенд для испытания материалов на трение и износ». /МПК G01N3/56(2009.01).

80 Под редакцией Вейнберга Ф. - Выпуск 1. - Перевод с английского – М. Приборы и методы физического металловедения.: Мир, 1973. – 427 с.

81 С.С.Горелик, Л.Н.Расторгуев, Ю.А.Скаков.//Рентгенографический и электроннооптический анализ. Приложения - М. Metallurgia, 1970-109 с.

82 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 zherpublic of Kazakhstan.-Almaty, NASRK, 2017.-4(424).с.219-224.

83 Комбаев К.К., Турганбаев А.А. Инновационные направления в области упрочнения детали машин.//VIII Республиканская научно-техническая конференция студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, посвященная 50-летию ВКГТУ им. Д. Серикбаева «Творчество молодых - инновационному развитию Казахстана», часть III, 2008., С. 223-224.

84 Комбаев К.К., Смагулов Д.У., Кылышканов М.К., Структурно-фазовые превращения в стали 18ХНЗМА-Ш при электролитно-плазменной обработке.//Вестник, №3(79) КазНТУ им. К.И. Сатпаева, Алматы, 2010., С. 199-206.

85 Комбаев К.К., Семейхан Д., Электролитно-плазменная обработка стали 18ХНЗМА-Ш бурового долота.//IX Республиканская научно-техническая конференция студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых. «Творчество молодых - инновационному развитию Казахстана», часть II, 2009., С 196-198.

86 Кылышканов М.К., Комбаев К.К. Методы поверхностного упрочнения чугуна на основе электролитно –плазменной обработки.//Вестник, №3, ВКГТУ им. Д.Серикбаева, Усть-Каменогорск,2008.С.46-49.

87 Кылышканов М.К., Комбаев К.К. Инновационные направления обработки стали для ремонтных предприятия.//Роль университетов в создании инновационной экономики. Международная научно-практическая конференция, том II, Усть-Каменогорск, 2008. С. 520-522.

88 Кожа. Е, СмагуловД.У, КомбаевК.К. Электролитті-плазмалық өңдеуден кейінгі болаттың беткі қабатының құрлысы мен қасиеттерінің өзгеруі, Қазақстан-Британ техникалық университетінің хабаршысы №2-3(41-42).2017.-с.101-105,ISSN1998-6688.

89 Комбаев. К.К., Кылышканов М.К., Влияние режимов электролитно-плазменной закалки на структуру и свойства стали бурового долота.//Труды Университета, №2, КарГТУ, Караганда, 2009., С. 16 – 18.

90 Комбаев К.К., Кылышканов М.К., Скаков М.К. Исследование влияния электролитно-плазменной обработки на структуру и износостойкость стали бурового инструмента.//Вестник, №1(77) КазНТУ им. К.И. Сатпаева, Алматы, 2010., С. 105-111.

91 刘登卫.不锈钢制品内表面电解质等离子抛光技术的研究及应用.哈尔滨工业大学, 机械工程(专业学位)。2017。硕士。

92 Комбаев. К.К., Кылышканов М.К., Лопухов Ю.И. Исследование свойств модификации поверхности после электролитно-плазменной обработки стали 18ХНЗМА-Ш. Вестник, №2(32).//Национальной инженерной академии Республики Казахстан, Алматы, 2009., С. 142-146.

93 Kozha.Ye.,G.Ye.Akhmetova., D.U.Smagulov. The influence of Electrolyte-Plasma treatment on the structure and properties of tube steel 40G .Karaganda .2017.-с54-56.ISBN978-601-305-231-2.

94 КомбаевК.К., СмагуловД.У., КожаЕ., АхметоваГ.Е. Лабораторная установка для электролитно-плазменной обработки стали // *Научный журнал «Нанотехнологии наука и производство»*. - Москва, 2016, №4, - С. 49-55.

95 Кылышканов М.К., Комбаев К.К., Погребняк А.Д.//Заключение о выдаче инновационного патента на изобретение «Способ электролитно-плазменного упрочнения деталей бурового долота»./ /МПК С21D1/78 (2009.01), С21D 1/34 (2009.01)

96 吴杰.张亦凡.金小越.杨璇.陈琳.薛文斌.T8 钢液相等离子体电解渗碳的扩散过程和光谱学分析.材料研究学报.文章编号 1005-3093(2016)09-0655-07.

97 Кожа.Е,Смагулов.Д.У,Комбаев.К.К,Мурзахметова.У.А,Ахметова.Г.Е. Упрочнение маганцовистой стали методом электролитно-плазменной обработка.ВКГТУ ,ВСТНИК -2017.№3(77)-с,124-129,ISSN1561-4212.

98 王彬。薛文斌。金小越。吴杰。华铭。吴正龙。Q235 碳钢等离子体电解硼碳化处理及其性能分析。材料工。文章编号 1001-4381 (2014) 06-0028-07.

99 Kombaev.K.K.,Kozha.E.,Smagulov.D.U.andB. Sadeh. Structural phase transitions of low-carbon alloy steels during Electrolytic –Plazma processing //2016

2nd international conference on artificial and industrial engineering .-Beijing ,China,2016.-part2.c.491-495.

100 ASSESSMENT OF THE EFFECT OF ELECTROLYTIC-PLASMA TREATMENT ON THE STRUCTURE OF STEEL 45G G. E.Akhmetova, E. Kozha, A. K. Vyatkina, D. U. Smagulov, and A. V. KudryaTranslated from MetallovedeniieTermicheskayaObrabotkaMetallov, No. 11, pp. 14 – 17, November, 2019.

101 Черненко В.И., Снежко Л.А., Папанова И.И., Литовченко К.И. Теория и технология анодных процессов при высоких напряжениях. Киев. Наукова Думка, 1995. 196 с.

102 Кожа .Е, Д.У.Смагулов .,К.К.Комбаев.,Г.Е.Ахметова, Исследование влияния электролитно-плазменной обработки на структуру и износостойкость стали бурового инструмента.12октября 2017г.в г.Пенза часы1-с.49-56.ISBEN978-5-907012-09-7h.

103 王丽,陈砺,杨栋栋., 铝合金等离子体氧化放电特性及陶瓷膜层耐腐蚀性能研究.电镀与精饰.Issn.1001-3849.2013.05.002.

104 Джаманбаева.Г.Т,Кожа.Е,Смагулов.Д.У. Алюминий қорытпасын микродоғалы тотықтыру,КазҰТЗУ,хабаршысы,2015.№4(110).-б.28-33.ISSN1680—9211.

105 吴振强 , 夏原 , 关永军.,铝层对热浸铝-等离子体电解氧化复合涂层界面应力的影响.材料热处理学报.2006年4。 103-109

106 ПогребнякА.Д., КылышкановМ.К. БойкоА.Г., ГриценкоВ.П., Погребняк Н.А., Рузимов Ш.М.//Вестник Сумского государственного университета. Серия «Физика, математика, механика», 2004, №8 (67), С.69-80.

107 顾伟超.沈德久.王玉林.陈光良.冯文然.张谷令.刘赤子.杨思泽.电解等离子体法制备AL₂O₃陶瓷层及其特性研究.物理学报.1000-3290/2005/54(07)/3263-05

108 Pogrebnjak A.D., TyurinYu.N., Kylyhkanov M.K., Pogrebnjak N.A., Ponaryadov V.V. RuzimovSh.M.// VI-th International Conferece «Ion Implantation and other applications of ions and electrons», KazimersDolny, Poland, 2006, p.47.

109 Муровенко В.А. и др. Буровые машины и механизмы. – М. Машиностроение, Том 2, 2002 г. с. 256.

110 Ильский А.А. Оборудование для бурения нефтяных скважин. – М.,Машиностроение, 1980.

111 Егоров М.Е. и др. Технология машиностроения. Учебник для вузов. Изд. 2-е, доп. М., «Высшая школа», 1976.

112 редекцией А.Г, Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т./Под: Машиностроение, 1985.

113 Под ред. Н.А. Лисицына.–М.Экономика, организация и планирование промышленного производства./Высшая школа, 1999 г.

ҚОСЫМША А

Ректору ВКГТУ
им. Д. Серикбаева
Шаймарданову Ж.К.

Уважаемый Жасулан Кудайбергенович!

АО «Усть-Каменогорский завод промышленной арматуры» одно из крупнейших машиностроительных предприятий Казахстана по производству трубопроводной арматуры и нефтепромыслового оборудования. Завод оснащен передовым технологическим оборудованием, основными направлениями деятельности которого является производство: оборудования колонн клиновых; задвижек шиберных; кранов шаровых; арматуры фонтанной; клапанов обратных, в целом горнодобывающего оборудования.

В настоящее время в производстве применяются современные материалы и сплавы, которые подвергаются высоким контактным напряжениям и ударно усталостному износу. Высокие темпы роста и расширение номенклатуры изготавливаемой продукции, требуют внедрения инновационных технологии для поверхностного химико-термического упрочнения.

Разработанная учеными ВКГТУ им. Д. Серикбаева технология электролитно-плазменного локального упрочнения конструкционных материалов, низкоуглеродистых легированных сталей представляет для нас большой интерес, как альтернатива цементации в твердом карбюризаторе с последующей закалкой. Мы заинтересованы в реализации проекта на тему: «Внедрение инновационного упрочнения низкоуглеродистой легированной стали горно-добывающего оборудования Казахстанского производства электролитно-плазменной модификацией» руководителем, которого является Комбаев К.К. кандидат технических наук, доцент кафедры «Машиностроения», также исследовательские работы проводит докторант Ph&D специальности 6D071000 – «Материаловедение и технология новых материалов» - *Еркін Қожа*.

В связи с этим, мы готовы выступить в качестве бизнес-партнера проекта и совместно с проектной командой реализовать на нашем предприятии прогрессирующие достижения науки.

Для внедрения разработанной и глубоко изученной технологии мы готовы предоставить производственные мощности и материально-техническую базу нашего предприятия.

Технический директор
АО «Усть-Каменогорский завод
промышленной арматуры»



Р. Ахмадиев

ҚОСЫМША

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
БҒЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТЕРЛІГІ
ҒЫЛЫМ КОМИТЕТІ
«ҰЛТТЫҚ МЕМЛЕКЕТТІК ҒЫЛЫМИ-
ТЕХНИКАЛЫҚ САРАПТАМА ОРТАЛЫҒЫ»
АКЦИОНЕРЛІК ҚОҒАМЫ



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
КОМИТЕТ НАУКИ
АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ГОСУДАРСТВЕННОЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ»

050026, Қазақстан Республикасы
Алматы қ., Бөгенбай батыр көш., 221
Тел.: +7 (727) 378-05-09
Email: info@ncste.kz http://www.inti.kz

050026, Республика Казахстан
г. Алматы, ул. Бөгенбай батыра, 221
Тел.: +7 (727) 378-05-09
Email: info@ncste.kz http://www.inti.kz

Исх №: 3392/10.02-02
«30» 10.2017

Институт промышленной
инженерии им. А. Буркитбаева

На № 03-26/18
от 23.10.2017 г.

АО «Национальный центр государственной научно-технической экспертизы» предоставляет информацию о наличии публикаций докторанта PhD **Еркин Кожа** в журнале «**News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences**» (Kazakhstan), ISSN: 2224-5278, входящем в базу данных **Scopus** с 2016 года по настоящее время. Предметная область – **Земля и планетарные науки – геология, геотехническая инженерия и инженерная геология.**

Статья **Кожа Е.:**

Kozha E., Smagulov D., Akhmetova G., Kombayev K. Laboratory installation for electrolytic-plasma treatment of steel // **News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences.** – 2017. – Vol. 4. – Iss. 424. – P. 219-224.

Статья выявлена в базе **Scopus.**

Вице-президент АО «НЦГНТЭ»

М. Бапиева

Бланк сертификата является копией оригинала. Жалоба на выдачу сертификата подается в течение 10 дней с момента выдачи. Сертификат действителен в течение 1 года. При смене фамилии необходимо уведомить об этом в течение 10 дней. Бланк без серийного номера не действителен. При ссылке обязательно ссылаться на наш № и дату.

Муслимов Р.
8 (727) 378-05-13

007675