

Сатбаева Зарина Аскарбековнаның
6D060400 – «Физика» мамандығы бойынша философия докторы (PhD)
дәрежесін алуға арналған диссертациясының
АНДАТПАСЫ

**«Электролитті-плазмалы беттік беріктендіру кезінде легірленген
болаттардағы құрылымдық түзілу»**

Жұмыстың жалпы сипаттамасы. Диссертациялық жұмыс электролиттік-плазмалық беттік қатаю кезінде 40ХН, 20Х2Н4А және 34ХН1М болаттардың беткі қабаттарының құрылымдық-фазалық күйлері мен трибологиялық қасиеттерінің өзгеруін эксперименттік зерттеуге, сондай-ақ конструкциялық легирленген болаттарды электролиттік-плазмалық қатайтудың ресурс үнемдеу әдісін жасауға арналған. Жұмыста 40ХН, 20Х2Н4А және 34Х1М легирленген болаттардың құрылымдық-фазалық күйлері мен трибологиялық және механикалық сипаттамаларына плазмалық-электролиттік беттік қатайтудың әзірленген әдісінің технологиялық параметрлерінің әсерін зерттеу нәтижелері келтірілген. Сыналған зерттеу әдістерін және трибо-механикалық сынақтардың стандартты әдістерін қолдана отырып жүргізілген эксперименттік жұмыстардың негізінде электролиттік-плазмалық беттік қатайту материалдың бетінде негізгі және қайталама қатайту фазаларынан тұратын модификацияланған қабаттарды қалыптастыру арқылы механикалық және трибологиялық қасиеттерді едәуір арттыруға мүмкіндік беретіні анықталды.

Тақырыптың өзектілігі. Жабдықтар мен өнеркәсіптік техниканың пайдалану сипаттамаларын үнемі жетілдіру негізінен олардың негізгі тораптары мен бөлшектерінің жұмыс сипаттамаларын арттыруды күшейтуді талап ететін олардың қуаты мен өнімділігін арттырумен қамтамасыз етіледі. Кез-келген техниканың бөлшектерінің қызмет ету мерзімін төмендететін зақымданулар белсенді дамып келе жатқан жұмыс беткі қабатының жағдайы техниканы пайдаланудың техникалық-экономикалық көрсеткіштерін бағалайды. Жоғары циклдік беріктікті, жоғары тозуға төзімділікті, кернеу концентраторларына сезімталдықты төмендетуді қамтамасыз ету үшін бөліктің берік қимасында қатты және тозуға төзімді беттің, тұтқыр, бірақ берік өзектің және беткі қабаттағы қысу кернеулерінің болуын қамтамасыз ететін қасиеттер градиентін жасау қажет. Мұндай қасиеттер кешенін іске асыру беттік термиялық өңдеу әдісін қолдану арқылы мүмкін болады.

Қазіргі уақытта тісті доңғалақтардың қызмет ету мерзімін жақсарту үшін өндіруші зауыттар жағдайында металлургиялық әдістермен және термиялық өңдеумен қатар, әртүрлі технологияларды қолдана отырып, тозған беттерді жергілікті беттік қатайту қарастырылуда. Болат бөлшектерін беттік термиялық қатайту машиналар мен механизмдердің жүктелген элементтерінің жұмыс ресурсын ұлғайтудың, сондай-ақ олардың материал сыйымдылығын төмендетудің ең тиімді және ұтымды әдістерінің бірі болып табылады. Бұл жағдайда бөліктің ең көп жүктелген жұмыс беті ғана қатайтылады, өзегі өзгеріссіз қалады. Сонымен қатар, бөлшектердің жұмыс беттерін беттік

термоөңдеу (шынықтыру) сапасын арттырудағы прогресс шоғырланған энергия көздерін: электрондық және лазерлік сәулені, плазмалық ағынды қолданумен байланысты. Мұндай әдістер жоғары өнімділік қасиеттеріне және катаю сапасына қол жеткізуге мүмкіндік береді. Қазіргі уақытта тісті доңғалақтарды беттік термиялық қатайту үшін жоғары жиілікті, газ жалын, плазмалық, электронды сәулелік және лазерлік өңдеу өнеркәсіпте кеңінен қолданылады. Сонымен қатар, өзінің техникалық-экономикалық көрсеткіштері бойынша қатайтудың барлық қолданыстағы әдістерінің ішінен плазмалық беттік қатайту кең және тиімді қолданылады. Плазмалық беттік қатайтудың бір түрі – электролиттік-плазмалық қатайту (ЭПК). Электролитті-плазмалық қатайту әдісінің басты ерекшелігі - дәстүрлі плазмалық беттік қатайту әдістерімен салыстырғанда төмен құны, технологиялық жабдықтар мен шығын материалдарының қолжетімділігі, қатайтылған аймақтың үлкен өлшемдері және жоғары салқындату жылдамдығы. Оның мәні термиялық фазалық және құрылымдық түрлендірулерден тұрады, олар бөлшектің жұмыс бетін плазмалық әсермен тез шоғырланған қыздыру кезінде пайда болады, содан кейін материалға терең жылу беріледі және материалдың қыздырылған бетіне ағынды электролиттің әсерінен тез салқындатылады. Шынықтыру түріндегі құрылымдар жоғары қаттылыққа, тозуға төзімділікке және бұзылуға төзімділікке ие.

Конструкциялық болаттардың бетін өзгертудің қолданыстағы әдістері мен технологияларының сипаттамаларын талдау өнеркәсіптік, аспаптық және машина жасау мақсаттарындағы болат бөлшектерін негізінен жоғары қызмет ету мерзімімен беттік электролитті-плазмалық қатайтудың ресурс үнемдеу әдісін әзірлеу міндеті заманауи және өзекті екенін көрсетеді.

Жұмыстың мақсаты электролиттік-плазмалық беттік қатайту кезінде легирленген болаттардың құрылымдық-фазалық күйлерінің қалыптасу заңдылықтарын және механикалық және трибологиялық сипаттамаларының өзгеруін зерттеу.

Қойылған мақсатқа жету үшін келесі негізгі **міндеттерді** шешу қажет:

1. 40ХН, 20Х2Н4А, 34Х1М легирленген болаттарды электролиттік-плазмалық беттік қатайтудың оңтайлы режимін анықтау және әдістемесін жасау;
2. Электролиттік-плазмалық беттік қатайту арқылы 40ХН, 20Х2Н4А, 34ХН1М легирленген болаттардың модификацияланған беткі қабаттарының құрылымдық-фазалық күйінің өзгеруін зерттеу;
3. 40ХН, 20Х2Н4А, 34Х1М легирленген болаттардың қаттылығына, тозуға төзімділігіне және коррозияға төзімділігіне электролиттік-плазмалық беттік қатайтудың технологиялық параметрлерінің әсерін зерттеу;
4. Легирленген Болаттың беткі қабатының жұқа құрылымына электролиттік-плазмалық беріктіктің әсерін зерттеу.

Зерттеу нысаны – беттік электролиттік-плазмалық қатайтуға дейінгі және одан кейінгі 40ХН, 34ХН1М, 20Х2Н4А маркалы легирленген болаттар.

Зерттеу пәні – электролиттік-плазмалық қатайту процесінің ерекшеліктері, құрылымдық-фазалық күйлері және 40ХН, 34ХН1М, 20Х2Н4А

конструкциялық болаттардың қатайтылған қабаттарының трибологиялық қасиеттері.

Зерттеу әдістері. Электролиттік-плазмалық беттік қатайту әдісімен алынған қатайтылған беткі қабаттың құрылымдық-фазалық күйлерін зерттеу үшін эксперименттік зерттеудің келесі әдістері қолданылды: рентгендік құрылымдық талдау, сканерлеуші электронды және трансмиссиялық электронды микроскопия, профилометрия. Қатайтылған қабаттың механикалық және трибологиялық сипаттамалары микроқаттылық өлшеу, "шар-диск" схемасы бойынша тозуға төзімділік сынағы, сондай-ақ абразивті тозу сынағы арқылы анықталды.

Осы жұмыстың барлық зерттеулері "Беттік инженерия және трибология" ғылыми-зерттеу орталығының, Сәрсен Аманжолов атындағы ШҚУ КЕАҚ ұжымдық қолданыстағы Ұлттық ғылыми зертханасының, Д. Серікбаев атындағы ШҚТУ КЕАҚ "IRGETAS" инженерлік бейінді зертханасының, "Томск мемлекеттік сәулет-құрылыс университеті" ФГБОУ ВО "Томск мемлекеттік сәулет-құрылыс университеті" (Томск қ., Ресей) заманауи эксперименттік жабдықтарында жүргізілді.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы:

– легирленген болаттарды қатайтудың жаңа әдісі жасалды, ол натрий карбонаты мен карбамидтің сулы ерітіндісі негізінде электролитте өңделетін материал мен 320В сұйық электролит катодының арасындағы кернеуді 2 сек ішінде беру кезінде өңделетін материалдың бетіне жергілікті плазмалық әсер ету арқылы және материалға терең жылу тарату және циркуляциялық режимдегі электролиттің бағытталған ағынының әсерінен кернеуді өшіру кезінде салқындату жүзеге асырылады

– алғаш рет 40ХН, 34ХН1М, 20Х2Н4А конструкциялық легирленген болаттардың құрылымына, фазалық құрамына және трибологиялық қасиеттеріне электролиттік-плазмалық беттік қатаюдың әсері туралы жүйелі эксперименттік деректер алынды;

– алғаш рет жұқа құрылымның морфологиялық ерекшеліктері және беткі электролиттік-плазмалық қатаюға дейін және одан кейін 34ХН1М легирленген болаттың дислокациялық құрылымының сандық параметрлері анықталды.

Қорғауға шығарылатын негізгі ережелер:

1. Легирленген болаттарды электролиттік - плазмалық беттік қатайтудың әзірленген әдісі. Натрий карбонаты мен карбамидтің сулы ерітіндісі негізінде электролитте өңделетін материалдың бетіне жергілікті плазмалық әсер ету арқылы өңделетін материалдар мен 320В сұйық электролиттік катод арасындағы кернеуді 2 секунд ішінде беру арқылы және материалға терең жылу бөлу арқылы кернеуді өшіру кезінде жылдам салқындату арқылы жүзеге асырылатын легирленген болаттарды қатайтудың әзірленген жаңа тәсілі қыздырылған бетке бағытталған электролит ағынының әсері α -фазасынан, γ -фазадан және M_3C карбидінен тұратын қалыңдығы $\sim 0,5-1,5$ мм модификацияланған беткі қабатты алуға мүмкіндік береді.

2. Электролитті-плазмалық беттік қатайту кезінде легирленген болаттардың микроқұрылымы мен қасиеттерін өзгерту. Электролитті-

плазмалық беттік шынықтырудан кейін болаттардың легирлену дәрежесіне байланысты хромоникельді және хромоникельмолибден болаттарының қаттылық орта есеппен 1,5-2 және ~3 есе артады, сондай-ақ тозуға төзімділік параметрі болаттардағы көміртегі құрамына белгілі бір тәуелділікке ие, сондықтан 40ХН, 34ХН1М және 20Х2Н4А маркалы болаттардың тозуға төзімділік мәндері бастапқы үлгілермен салыстырғанда 10 есе, ~6 рет және 3,5 рет өсті.

3. 34ХН1М болаттың электролиттік-плазмалық беттік қатайтуға дейінгі және одан кейінгі дислокациялық құрылымының морфологиялық ерекшеліктері мен сандық параметрлері. 34ХН1М Болат ЭППУ 60% және 40% көлемді үлестері бар пакеттік және пластиналы мартенситтен, қалдық аустениттен, цементиттен және $M_{23}C_6$ күрделі карбидтен тұратын жұқа құрылымның пайда болуына ықпал етеді, олардың қалыптасуы ішкі напряжысу кернеуін 295 МПа-дан 370 МПа-ға дейін арттыруға ықпал етеді, осылайша, дислокацияның скалярлық тығыздығын $2,20$ нен 10^{10} см⁻²-ден $3,47$ 10^{10} см⁻²-ге дейін және модификацияланған қабаттағы $\pm=1,97$ ден 10^{10} см⁻² болатын артық дислокация тығыздығымен салыстырғанда оның жоғары мәнін арттыру арқылы материалдың бетінің қатаюына әкеледі. **Ғылыми және практикалық маңыздылығы.** Теориялық және эксперименттік зерттеулердің нәтижелері электролиттік-плазмалық беттік қатайту кезінде конструкциялық легирленген болаттарда модификацияланған беткі қабатты қалыптастыру процесі туралы жаңа, тереңірек түсініктер береді. Бұл жұмыстың маңызды практикалық маңызы бар, өйткені электролитті-плазмалық беттік қатайтудың дамыған әдісі физика-механикалық қасиеттері бар конструкциялық легирленген болаттарда модификацияланған беткі қабатты алуға мүмкіндік береді. Бөлшектердің беріктігін арттыратын әзірленген әдісті машина жасау өндірісіне енгізу қарапайым жабдықты, қымбат емес және натрий карбонаты негізіндегі экологиялық таза электролитті қолдану, процестің ұзақтығын қысқарту, еңбек өнімділігін арттыру және қоршаған ортаға экологиялық жүктемені азайту арқылы техникалық-экономикалық және экологиялық әсер береді.

Электролитті-плазмалық беттік қатайтудың әзірленген тәсілі "Болат бұйымдарын шынықтыру әдісі" пайдалы моделіне (28.04.2020 ж. №4891 пайдалы моделі), сондай-ақ "Болат пен шойыннан жасалған бөлшектерді плазмалық беттік қатайтуға арналған қондырғы" (04.09.2020 ж. №5354) Қазақстан Республикасының патентімен қорғалған. Зерттеу нәтижелері конструкциялық болаттан жасалған бөлшектерді өңдеудің түрлері мен режимдерін таңдауда пайдалы болуы мүмкін.

Жұмыстың ғылыми-зерттеу жобаларымен байланысы. Қорғауға ұсынылған "Электролиттік-плазмалық беттік қатайту кезінде легирленген болаттардағы құрылымды қалыптастыру" диссертациясының тақырыбы "Энергетика және машина жасау" ғылымын дамытудың басым бағытына сәйкес келеді, ал жұмыс гранттық қаржыландыру шеңберінде мемлекеттік бағдарлама бойынша орындалды: АР05134936 "Ауыр жүктелген тісті доңғалақтардың беріктігін арттыру үшін электролиттік-плазмалық беттік

катайту технологиясын әзірлеу" Сәрсен Аманжолов атындағы ШҚУ ИПиТ ҒЗО базасында орындалады.

Автордың жеке үлесі. Автордың жеке үлесі электролитті-плазмалық беттік нығайту бойынша эксперимент жүргізу, әдеби деректерді талдау, электронды-микроскопиялық, рентгендік құрылымдық зерттеулер жүргізу, болаттардың қаттылығын, тозуға төзімділігін анықтау бойынша жұмыстар жүргізу, сондай-ақ нәтижелерді статистикалық өңдеу болып табылады. Тапсырманы қою, алынған нәтижелерді талдау және негізгі тұжырымдарды тұжырымдау ғылыми кеңесшілермен бірлесіп жүргізілді.

Жұмыста алынған нәтижелердің негізділігі мен дұрыстығы дәрежесі қамтамасыз етіледі:

Нәтижелердің негізділігі мен дұрыстығы оларды алу кезінде тексерілген стандартты зерттеу әдістері мен заманауи дәл өлшеу құралдары мен қондырғыларының, эксперименттік деректердің көлемі мен статистикасының және оларды ТМД және алыс шетелдердің белгілі ғалымдарының бұрын алынған эксперименттік нәтижелерімен салыстырудың пайдаланылуымен қамтамасыз етіледі. Зерттеу нәтижелері ғылыми журналдарда жарияланды, баяндалды және халықаралық конференцияларда талқыланды.

Жұмыс нәтижелерін апробациялау. Негізгі нәтижелер: "Порошковая металлургия: инженерия поверхности, новые порошковые композиционные материалы. Сварка", Минск қ., Белоруссия, 10-12 сәуір 2019 ж.; 11-ші Халықаралық ғылыми конференция "Хаос и структуры в линейных системах. Теория и эксперимент", Қарағанды қ., 22-23 қараша 2019 ж.; 28st International Conference on Metallurgy and Materials "Metal 2019", Brno, Czech Republic, may 22nd-24th 2019; 14th International conference "Gas Discharge Plasmas and Their Applications", Tomsk, Russia, September 15-21, 2019; "Материаловедение, машиностроение и энергетика: проблемы и перспективы развития" халықаралық ғылыми-практикалық конференциясы, Барнаул қ., Ресей Федерациясы, 27-28 маусым 2019 ж.; Халықаралық ғылыми-практикалық конференция "Материаловедение и металлургические технологии" конференциясы, Челябинск қ., Ресей Федерациясы, 1-3 қазан 2019 ж.; 29st International Conference on Metallurgy and Materials "Metal 2020", Brno, Czech Republic, may 20nd-22th 2020.

Сонымен қатар, негізгі ғылыми нәтижелер Сәрсен Аманжолов атындағы ШҚУ "Беттік инженерия және трибология" ҒЗО ғылыми семинарларында (2018-2021 жылдар), Сәрсен Аманжолов атындағы ШҚУ физика кафедрасында, Өскемен, (2020-2021 жылдар) баяндалды және талқыланды.

Жарияланымдар. Диссертация тақырыбы бойынша бірлескен авторлықта 14 баспа жұмысы жарияланды, оның ішінде: ҚР Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым және жоғары білім саласындағы сапалы қамтамасыз ету комитеті ұсынған журналдарда 3 мақала, Scopus және Web of Science дерекқорларына кіретін журналдарда 3 мақала, халықаралық конференциялар материалдарының жинақтарында 5 мақала, сондай-ақ бірлескен авторлықта 1 монография және Қазақстан Республикасының пайдалы моделіне 2 патент.

Диссертацияның құрылымы мен көлемі. Жұмыс кіріспеден, төрт бөлімнен, қорытындыдан және пайдаланылған көздер тізімінен тұрады. Ол 119 бетте көрсетілген, 50 суреттен, 12 кестеден және 183 атаудан тұратын пайдаланылған дереккөздердің тізімінен тұрады.