

6D072300 – «Техникалық физика» мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алуға арналған диссертацияның

## **АҢДАТПАСЫ**

**Кеңесбекова Айдар Бақытбекұлы**

**«Тез кесетін болаттардың бетінде TiN негізінде тозуға төзімді жабындарды ауа-плазмалық тәсілімен әзірлеу»**

Диссертациялық жұмыс тез кесетін болаттардың бетіне тозуға төзімді жабындарды алудың ауа-плазмалық әдісін жетілдіруге және дамытуға, сондай-ақ TiN негізіндегі жабындардың құрылымдық-фазалық күйі мен трибологиялық қасиеттерін қалыптастыруға бүркудің технологиялық параметрлерінің әсерін зерттеуге арналған.

### **Зерттеу тақырыбының өзектілігі.**

Материал плазма түрінде шоғырланған энергия ағындарына ұшырайтын технологиялық процестер қазіргі уақытта өнеркәсіпте кең таралған. Плазмалық ағын жабындарды бүрку кезінде бөлшектерді қыздыру, тозаңдату және үдету көзі ретінде кеңінен қолданылады. Плазмалық бүрку технологиясын әзірлеудің міндеті – берілген пайдалану сипаттамалары бар (тозуға төзімділік, қаттылық, адгезия беріктігі және т.б.) бөлшектің бетіне қатайтылған қабат алу.

Плазмалық бүрку әдістерінің бірі – ауа-плазмалық бүрку. Технология бүркітін материалды сұйық және пластикалық күйге дейін қыздыру, оны жоғары температуралы плазмалық ағынмен төсенішке беру, содан кейін жабын қабатын қалыптастыруға негізделген. Ауа-плазмалық процестерді практикалық іске асыру саласындағы жетістіктерге қарамастан, плазмалық бүркудің жылу тиімділігін арттыру мәселесі өзекті болып қала береді. Бұл мәселе жоғары ресурстық плазмотрондарды құру арқылы шешіледі. Плазмотронды әзірлеу міндеті доғаның электр энергиясынан әртүрлі қасиеттері бар ұнтақ материалдарды тиімді пайдалануға мүмкіндік беретін жоғары өнімділігі бар плазмалық ағынның жылу энергиясына түрлендіруді қамтамасыз ететін салыстырмалы түрде қарапайым, жөндеуге болатын құрылымды жасауға мүмкіндік береді.

Ауа-плазмалық бүрку кезінде металл, қорытпа және оксид ұнтақтары бүркілетін материал ретінде кеңінен қолданылады. Оттексіз отқа төзімді қосылыстарға, атап айтқанда нитридтерге негізделген ұнтақтарды қолдану сирек кездеседі. Кейбір жағдайларда нитридті жабындарды алу үшін технологиялық процестің ерекшеліктеріне байланысты арнайы талаптар қойылады. Нитридті жабындардың ауа-плазмалық бүрку процесі жоғары температурада жабындардың оттегінің ауамен реакциясына байланысты тотығумен жүреді. Мұндай проблемаларды «қалқан қақпағы» плазмотрон контсрукциясын қолдану арқылы шешуге болады. Ұнтақ пен азот берілетін қосымша каналмен жабдықталған арнайы плазмотронды қолдану ұсынылады. Плазмотронның бұл ерекшеліктері азоттың металл ұнтақтарымен әрекеттесуі арқылы нитридтердің

түзілуін, сонымен қатар ұнтақтар мен жабындардың қатты тотығуын болдырмайтын плазмалық ағынның айналасында азот қабығының түзілуін қамтамасыз етеді. Бұл әдіс қарапайым және әмбебап, бұл үлкен өлшемді және күрделі конфигурацияның бөлшектерін өңдеуге мүмкіндік береді. Алайда, нитридті жабындарды қолданудың бұл әдісі кең таралмаған және өндіріске енгізілмеген және дизайн ерекшелігіне және бүркудің технологиялық параметрлеріне байланысты жабындардың қалыптасу заңдылықтарын егжей-тегжейлі зерттеуді қажет етеді. Нитридті жабындар көбінесе PVD және CVD әдістерімен жасалады және тез кесетін болаттан жасалған кесу құралдарын қатайту үшін кеңінен қолданылады. Ауа-плазмалық технологиямен кесу құралдарына тозуға төзімді нитридті жабындарды алуды жоғары өнімді балама әдіс ретінде қарастыруға болады.

Осылайша, ауа-плазмалық бүрку саласындағы елеулі прогреске қарамастан, бірқатар мәселелерді шешу қажет: процестің технологиялық мүмкіндіктерін кеңейтуді қамтамасыз ететін нитридті жабындарды ауа-плазмалық бүруге арналған шағын өлшемді, қарапайым жабдықты әзірлеу; салыстырмалы қарапайымдылығымен және жөндеуге жарамдылығымен ерекшеленетін жоғары жылу тиімділігі бар жоғары ресурстық плазмотронды әзірлеу; өнеркәсіптік роботтарды қолдану арқылы плазмалық бүрку процесін автоматтандыру; тез кесетін болаттан жасалған кескіш құралдардың тұрақтылығына плазмалық нитридті жабындардың әсері туралы эксперименттік негізделген тұжырымдаманы құру.

Жоғарыда айтылғандарға байланысты тез кесетін болаттардың бетіне тозуға төзімді жабындарды алудың ауа-плазмалық әдісін жетілдіруге және дамытуға, сондай-ақ TiN негізіндегі жабындардың құрылымдық-фазалық күйі мен трибологиялық қасиеттерін қалыптастыруға бүркудің технологиялық параметрлерінің әсерін зерттеуге арналған диссертация тақырыбы өзекті болып табылады.

**Жұмыстың мақсаты:** P6M5 болаттан жасалған кескіш құралдардың бетінде тозуға төзімді TiN жабындарын алудың ауа-плазмалық әдісін әзірлеу және бүркудің технологиялық параметрлерінің TiN негізіндегі жабындардың құрылымдық-фазалық күйі мен трибологиялық қасиеттерін қалыптастыруға әсерін зерттеу.

Қойылған мақсатқа сәйкес келесі **міндеттер** тұжырымдалды :

- ұнтақты жабындарды алуға арналған ауа-плазмалық қондырғыны әзірлеу;
- ұнтақ жабындарын ауа-плазмалық бүрку үшін плазмотрон сипаттамаларын әзірлеу және зерттеу;
- TiN жабындарының құрылымдық-фазалық күйіне және сипаттамаларына ауа-плазмалық бүрку параметрінің тәуелділігін зерттеу;

– ауа-плазмалық бүрку әдісімен алынған TiN жабындарының механикалық-трибологиялық қасиеттерін зерттеу;

– ауа-плазмалық бүрку әдісімен алынған TiN жабыны бар кескіш құралға стендтік сынақтар жүргізу.

**Зерттеу нысаны** – ауа-плазмалық бүрку әдісімен P6M5 тез кесетін болаттың бетінде алынған TiN негізіндегі жабындар.

**Зерттеу пәні** – плазмотронның жұмыс режимі, кесу құралдарының бетіндегі TiN жабындарының құрылымдық-фазалық күйлері және механикалық-трибологиялық қасиеттері, TiN жабыны бар кесу құралының стендтік сынақтары.

**Зерттеу әдістері.** Жұмыста қойылған міндеттерді орындау үшін жабындардың құрамын, құрылымы мен қасиеттерін зерттеудің заманауи эксперименттік әдістері қолданылды: электрондық микроскопия; рентгенфазалық талдау; микро және наноиндентирлеу, скрет-тестілеу әдістері; жұлып алу әдісімен адгезияны анықтау; коррозияға сынаудың потенциометриялық әдісі; «шар-диск» және «сызықтық ілгері-кейінді тозу» схемасы бойынша трибологиялық сынақтар; бұрғылауды стендтік сынау; SolidWorks бағдарламалық кешеніндегі соңғы элементтер әдісімен плазмотрон конструкциясын термиялық талдау. Аспаптық құралдар ретінде келесі жабдықтар мен құралғылар қолданылды: X'PertPRO рентгендік дифрактометр, INCA ENERGY моделінің энергодисперсиялық рентгендік детекторы (EDAX) TESCAN MIRA3 электронды сканерлеуші микроскоп; P-150 потенциостат-гальваностат; Elcometer 510 адгезиметрі; «скретч-тестер» CSEM Micro Scratch Tester; Метолаб 502 микроқаттылық өлшегіші НаноСкан-4DКомпакт наноқаттылық өлшегіші; профилометр130 моделі; TRB<sup>3</sup> трибометрі, сондай-ақ кесу процесінде материалдардың тозуға төзімділігі мен үйкеліс күшін бағалау үшін біз әзірлеген, жасаған және сынаған стенд.

Жұмысты орындау барысында Сәрсен Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университетінің «Беттік инженерия және трибология» ғылыми-зерттеу орталығының, Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университетінің, «PlasmaScience» ЖШС ғылыми-өндірістік фирмасының, Вроцлав ғылым және технологиялар университетінің (Вроцлав қ., Польша) және «Томск политехникалық Ұлттық зерттеу университеті» Федералды мемлекеттік автономды жоғары кәсіптік білім беру мекемесіндегі (Томск қ., Ресей) материалдардың қасиеттерін өлшеу орталығының ресурстары мен жабдықтары пайдаланылды.

#### **Жұмыстың ғылыми жаңалығы:**

– «Бүркуге арналған плазматрон» өнертабысына патентпен қорғалған (№34334 14.08.2020 ж. жарияланған) ұнтақ жабындарын ауа-плазмалық бүркуге арналған жоғары ресурсты плазмотрон әзірленді. Әзірленген плазмотронның артықшылығы – анод толық дәнекерленген және оның беті салқындатқыш

сұйықтықтың жоғары қысымында тиімді салқындату мен сенімділікті қамтамасыз ететін радиатор профилі бар;

– Р6М5 тез кесетін болаттан жасалған кескіш құралдың бетіне тозуға төзімді TiN жабындарын ауа-плазмалық бұрку әдісі әзірленді және жаңадан жасалған сынақ стендінде кесу процесінде бұрғылаудың тозуға төзімділігі мен үйкеліс күшін бағалау әдісі ұсынылды.

– **Қорғауға шығарылатын негізгі ережелер:**

1. Беті радиатор профилі бар тұтас дәнекерленген анодпен плазмотронның жылу тиімділігін негіздейтін теориялық және эксперименттік зерттеулердің нәтижелері.

2. Ауа-плазмалық бұрку әдісімен жоғары қаттылығы және тозуға төзімділігі бар TiN негізіндегі жабындарды алудың технологиялық әдістері.

3. Р6М5 болаттан жасалған бұрғылардың ресурсын 2 есеге дейін арттыруға мүмкіндік беретін Р6М5 тез кесетін болаттан жасалған кескіш құралдың бетіне тозуға төзімді TiN жабындарын ауа-плазмалық бұрудің арнайы технологиялық жабдығын әзірлеу және енгізу нәтижелері.

**Ғылыми нәтижелердің практикалық маңызы.** Жұмыстың практикалық маңыздылығы келесі әзірлемелерді қамтиды:

- жоғары трибологиялық сипаттамалары бар нитридті жабындарды алуға мүмкіндік беретін ауа-плазмалық бұркуға арналған жоғары ресурстық плазмотрон;

- жону-бұрама кескіш білдек негізінде жасалған стенд түрінде арнайы жаңадан жасалған жабдықта жүзеге асырылатын кесу процесінде бұрғылаудың үйкеліс күштерін анықтауға арналған әдістер.

Зерттеулер нәтижесінде алынған деректер ауа-плазмалық бұрку технологиясын, сонымен қатар өнеркәсіпте практикалық қолдану үшін тез кесетін болаттан жасалған кескіш құралдардың бетіне титан нитридіне негізделген жабындарды алу кезінде ұсынылған плазмотрон моделін ұсынуға мүмкіндік береді.

**Жұмыстың ғылыми-зерттеу жобаларымен байланысы.** «Тез кесетін болаттардың бетінде TiN негізінде тозуға төзімді жабындарды ауа-плазмалық тәсілімен әзірлеу» тақырыбындағы диссертация «Энергетика және машина жасау» ғылымын дамытудың басым бағытына сәйкес келеді және ҚР Ғылым және Жоғары Білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландыратын келесі жобаларға сәйкес орындалды:

– BR05236748 «Машина жасау бұйымдары үшін тозуға төзімді материалдарды алудың инновациялық технологияларын зерттеу және әзірлеу», 2018-2020 жылдарға арналған бағдарламалық-нысаналы қаржыландыру;

– AP14972882 «Энергомашинлада қолдану үшін ауа-плазмалық бұрку әдісімен интерметаллидті жабындарды алудың ғылыми-технологиялық

негіздерін әзірлеу» 2022-2024 жылдарға арналған «Жас ғалым» жобасы бойынша жас ғалымдарды гранттық қаржыландыру.

**Автордың жеке үлесі.** Диссертацияда келтірілген негізгі нәтижелерді автор дербес немесе оның тікелей қатысуымен алады. Мақсаттар мен міндеттер ғылыми кеңесшілермен бірлесіп тұжырымдалды. Жарияланымдарды дайындау бірлескен авторлармен бірлесіп жүргізілді.

**Нәтижелердің негізділігі мен сенімділік дәрежесі** құрылымды, химиялық және фазалық құрамды, механикалық және трибологиялық сынақтарды, жабындардың адгезиялық беріктігін анықтаудың заманауи әдістерін қолдану арқылы қамтамасыз етіледі. Диссертацияның нәтижелері белгілі ғылыми идеяларға қайшы келмейді және зерттелген материалдарға сәйкес келеді.

**Жұмыс нәтижелерін мақылдау.** Диссертацияның негізгі нәтижелері келесі ғылыми шараларда баяндалады және талқыланады: 14-ші Халықаралық симпозиум «Порошковая металлургия: Инженерия поверхности, новые порошковые композиционные материалы. Сварка», Минск, Беларусь, 9-11 қыркүйек 2020 ж.; «Лазерные, плазменные исследования и технологии - ЛаПлаз-2020» VI Халықаралық конференциясы, Мәскеу қ., Ресей, 11-14 ақпан 2020 ж.; «The international conference – Advanced materials manufacturing and research: New technologies and methods» халықаралық ғылыми-практикалық конференциясы, Өскемен қ., Қазақстан, 19 ақпан 2021 ж.; «World Conference Engineering, Technology and Applied Science» халықаралық конференциясы, Бангкок қ., Тайланд, 07 Қараша 2022, сондай-ақ, Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университетінің базалық инженерлік дайындық факультетінің, Сәрсен Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университетінің «Беттік инженерия және трибология» ғылыми-зерттеу орталығының және «PlasmaScience» ЖШС ғылыми-өндірістік фирмасының ғылыми семинарларында талқыланды.

**Жарияланымдар.** Диссертация тақырыбы бойынша 13 жұмыс, оның ішінде Web of Science және Scopus дерекқорларында индекстелетін ғылыми рецензияланатын басылымдарда 1 мақала, Қазақстан Республикасының Ғылым және Жоғары Білім министрлігінің ғылым және жоғары білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитеті ұсынған журналдарда 4 мақала, республикалық және халықаралық конференциялар материалдарында 6 жұмыс, бірлескен авторлықта 1 монография және Қазақстан Республикасының өнертабысына 1 патент жарияланды.

**Диссертацияның құрылымы мен көлемі.** Диссертациялық жұмыс кіріспеден, үш тараудан, қорытындыдан, 131 атаудан тұратын пайдаланылған дереккөздер тізімінен және 4 қосымшадан тұрады. Диссертацияның жалпы көлемі 103 бет, оның ішінде 70 сурет және 15 кесте.