

**«Алюминий оксиді негізіндегі детонациялық жабындарды алу және олардың физикалық-механикалық қасиеттерін зерттеу» тақырыбы бойынша 6D072300 – «Техникалық физика» мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін ҚАНТАЙ НҰРҒАМИТТЫҢ дайындаған диссертациясының**

## **АНДАТПАСЫ**

Диссертациялық жұмыс олардың трибологиялық және механикалық сипаттамаларын арттыру мақсатында алюминий оксиді негізіндегі жабындыларды детонациялық тозаңдату процесін оңтайландыруға, сондай-ақ детонациялық тозаңдатудың технологиялық параметрлерінің алюминий оксиді жабындыларының құрылымдық-фазалық күйін және физика-механикалық қасиеттерін қалыптастыруға әсерін эксперименттік зерттеуге арналған. Жұмыста алюминий оксиді жабындарының құрылымы, фазалық құрамы, микроқаттылығы, наноқаттылығы, коррозияға төзімділігі, тозуға төзімділігі, эрозияға төзімділігі және ыстыққа төзімділігіне тозаңданудың технологиялық параметрлерінің (ату жиілігі, оқпан толтыру көлемі) және термиялық күйдіруден кейігі әсері зерттелді. Алюминий оксидінен градиентті жабын алудың әдісі әзірленді, ол жоғары қаттылыққа, тозуға және адгезиялық беріктікке ие.

### **Зерттеу тақырыбының өзектілігі.**

Қазіргі заманғы машина жасауда материалдардың бетіне айрықша көңіл бөлінеді, олардың күйі машина бөлшектері мен аспаптарының өнімділік қасиеттеріне әсер етеді. Машина бөлшектерін, құрал-саймандарды және технологиялық жабдықтарды пайдалану кезінде беткі қабаттар ең қарқынды әсерге ұшырайды. Қазіргі уақытта бұйымдарды қатайту және металдар мен қорытпалардың бетінің физикалық-механикалық қасиеттерін жақсарту үшін жоғары физикалық-механикалық сипаттамалары бар қорғаныс жабындары қолданылады: қаттылық, тозуға және агрессивті орталарға төзімділік, төмен жылу және электр өткізгіштік және т.б., бұл құрылымдық бөліктердің қызмет ету мерзімін және сенімділігін айтарлықтай арттыруға мүмкіндік береді. Жоғарыда аталған талаптардың кең ауқымына сәйкес келетін қорғаныс жабындарын жасау үшін алюминий оксиді керамикасы кеңінен қолданылады. Алюминий оксиді негізіндегі жабындар жоғары химиялық және термиялық тұрақтылыққа ие, сондықтан олар үлкен практикалық қызығушылық тудырады, әдетте жоғары температуралы агрессивті ортада олардың сипаттамаларын жақсарту үшін металдарға қолданылады.

Алюминий оксидіне негізделген жабындарды алу үшін Анодтау, термиялық тотығу (ТТ), газ-термиялық тозаңдау (ГТТ), микродоғалы тотығу (МДТ) және т. б. әдістері кеңінен қолданылады. Олардың ішінде ең перспективалысы жеке бөліктерді және тұтас құрылымдарды тозудан, коррозиядан, қызып кетуден, агрессивті ортаның әсерінен және т.б. қорғау мәселелерін шешуге мүмкіндік беретін термиялық тозаңдау әдісі болып табылады. Газ-термиялық тозаңдау әдістеріне жататын плазмалық, жалындық және детонациялық тозаңдау технологиясын қолдана отырып, алюминий оксиді

негізіндегі жабындарды алуға арналған көптеген жұмыстар бар. Плазма, жалын және детонациялық тозаңдау арқылы алюминий оксидінен жабын алу үшін әдетте бастапқы ұнтақ ретінде  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  қолданылады. Бұл жағдайда алынған жабын іс жүзінде корундты газ жалынымен тозаңдағанда негізінен  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ -ден тұрады, ал плазмалық және детонациялық тозаңдаудан кейін  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  және  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ -тен тұратын екі фазалы жабынды құрайды. Бірақ алынған жабындардың негізгі фазасы  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  болғандықтан, ол салыстырмалы түрде бос құрылымды және жинақылығы, қаттылығы, абразивті және коррозияға төзімділігі  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  қарағанда әлдеқайда төмен. Алюминий тотығы жабындарының физикалық-механикалық қасиеттерін жабын құрамындағы  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  үлесін арттыру арқылы жақсартуға болады. Әдетте бұл үшін көлемді немесе беткі термиялық өңдеулер қолданылады. Алайда, бұл жабындарды алу процесінің күрделілігін арттырады және экономикалық тұрғыдан тиімсіз. Сондықтан алюминий оксиді негізіндегі газ-термиялық жабындардың физика-механикалық сипаттамаларын жақсартудың негізгі міндеттерінің бірі  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  фазаларының көлемдік үлесін қосымша термиялық өңдеусіз арттыру болып табылады. Бұл мәселені алюминий оксидінің жабындыларын тозаңдау процесін оңтайландыру арқылы шешуге болады және бұл тозаңдау процесінің импульсті сипатымен сипатталатын детонациялық тозаңдау арқылы жүзеге асуы мүмкін, бұл газ жарылысын шашыратылған ұнтақ материалының бөлшектерін жеделдету және жылыту үшін қолдану арқылы анықталады. Детонациялық тозаңдау кезінде ұнтақ материал ериді және соққы толқынының әсерінен жоғары жылдамдықпен қозғалып, төсеніштің бетінде жабын пайда болады. Жоғары жылдамдық жабынның құрылымы мен физикалық-механикалық сипаттамаларын қалыптастырудың маңызды факторы болып табылады.

Қазіргі уақытта керамикалық және металл-керамикалық жабындардың, соның ішінде алюминий оксиді жабындарының қасиеттерін болжауға толық мүмкіндік беретін детонациялық бүркудің технологиялық параметрлерін есептеудің нақты әдістері жоқ. Сондықтан оптималды режимді таңдау арқылы детонациялық жабындардың қасиеттерін анықтайтын технологиялық параметрлердің әсерін тәжірибе жүзінде анықтадық.

Жоғарыда айтылғандарға байланысты диссертациялық жұмыстың тақырыбы жоғары трибологиялық және механикалық сипаттамалары бар алюминий оксидінің жабындарын алу үшін детонациялық тозаңдау әдісін жетілдіруге арналған, сондай-ақ, детонациялық тозаңданудың технологиялық параметрлерінің алюминий оксидінің жабындарының құрылымдық-фазалық күйін және физикалық-механикалық қасиеттерін қалыптастыруға әсерін тәжірибелік зерттеу өзекті болып табылады.

**Диссертациялық жұмыстың мақсаты** детонациялық тозаңдаудың технологиялық параметрлерінің жабынның құрылымдық-фазалық күйі мен физикалық-механикалық қасиеттерінің қалыптасуына әсерін зерттеу болып табылады.

Осы мақсатқа жету үшін келесі **міндеттер** шешілді:

– детонациялық тозаңдау әдісімен алынған алюминий оксиді жабындарының құрылымы мен қасиеттеріне жылулық өңдеудің әсерін зерттеу;

– детонациялық тозаңдау кезінде ату жиілігінің алюминий оксиді жабындарының құрылымы мен қасиеттеріне әсерін зерттеу;

– алюминий оксиді жабындарының құрылымдық-фазалық күйінің, механикалық және трибологиялық қасиеттерінің қалыптасуына детонациялық оқпанды жарылғыш қоспамен толтыру дәрежесінің әсерін зерттеу;

– жоғары механикалық және трибологиялық сипаттамаларға ие градиентті жабындарды алудың детонациялық тозаңдату тәсілін әзірлеу.

**Зерттеу нысаны** детонациялық тозаңдату әдісімен алынған алюминий оксиді жабындары.

**Зерттеу пәні** – детонациялық тозаңданудың технологиялық параметрі; алюминий оксиді жабындарының жылулық өңдеуден кейінгі құрылымы мен қасиеттерін қалыптастыру ерекшелігі.

**Зерттеу әдістері.** Қойылған міндеттерге сәйкес келесі талдау әдістері қолданылды: сканерлеуші электрондық микроскопия (SEM); энергетикалық дисперсиялық рентгендік микроталдау (EDS); рентгендік дифракциялық талдау (XRD); наноқаттылықты, микроқаттылықты өлшеу, тозуға төзімділікке, ыстыққа төзімділікке және коррозияға төзімділікке сынау.

#### **Жұмыстың ғылыми жаңалығы:**

- алюминий оксиді жабындарының құрылымына, фазалық құрамына, механикалық және трибологиялық қасиеттеріне детонациялық тозаңдаудың технологиялық параметрлерінің (ату жиілігі, бөшкенің толтырылу дәрежесі) әсері туралы жүйеленген тәжірибелік деректер алғаш рет алынды;

- алғаш рет детонациялық зеңбіректің оқпанын жарылғыш қоспамен толтыру дәрежесінің төмендеуі жабындардағы  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  фазасының көлемдік үлесінің артуына, сол арқылы микроқаттылық пен тозуға төзімділіктің артуына әкелетіні анықталды;

- жарылғыш қоспамен детонациялық зеңбіректің оқпанын толтыру деңгейін біртіндеп төмендету арқылы алюминий оксидінен градиентті жабын алудың жаңа тәсілі әзірленді. Бұл әдіс  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  фазасы төсеніштен бетке дейін жоғарылайтын құрылымы бар жабынды алуға мүмкіндік береді.

#### **Қорғауға шығарылатын негізгі қағидалар:**

1. фазалық құрамы  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  (аз мөлшерде) пен  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  тұратын алюминий оксиді детонациялық жабынын 1000-1200 °С температура аралығында жылулық өңдеу нәтижесінде көп мөлшерде  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  фазасы түзілетін құрылым-фазалық өзгерістер орын алып, жабынның қаттылығы мен тозуға төзімділігі артады.

2. детонациялық оқпанды жарылғыш қоспамен толтыру дәрежесін 68 %-дан 53 %-ға дейін төмендету нәтижесінде,  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  фазасының көлемдік үлесі артып, жабынның микроқаттылығы ~1,5 есе ұлғайып, тозу қарқындылығы ~2,5 есе төмендейді.

3. детонациялық оқпанын жарылғыш қоспамен толтыру дәрежесін 68 %-дан 53 %-ға дейін біртіндеп азайту нәтижесінде жабынның беткі қабатына қарай  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  фазасының көлемдік үлесі артатын градиентті құрылымды алюминий оксиді жабыны түзіледі.

## **Жұмыстың ғылыми және практикалық маңыздылығы.**

Жүргізілген зерттеулердің нәтижелері айтарлықтай ғылыми және практикалық құндылыққа ие. Жұмыста алынған детонациялық тозандандудың технологиялық параметрлерінің алюминий оксидінің жабындарының құрылымдық-фазалық күйіне және физикалық-механикалық қасиеттеріне әсерін кешенді эксперименттік зерттеу нәтижелері детонациялық технологияның одан әрі дамуына ықпал етеді және қызметтік қасиеттері жоғарылатылған алюминий оксиді негізіндегі ұнтақ материалдарынан жабындар алудың технологиялық процесін жасау кезінде қолдануға болады.

Алюминий оксидінен градиентті жабындарды алудың әзірленген әдісі тозуға және коррозияға ұшыраған болат бұйымдарының өнімділігін жақсарту үшін пайдаланылуы мүмкін.

Әзірленген тәсіл пайдалы модельге патенттермен қорғалған «Детонациялық жабынды жағу тәсілі» (№6204. 02.07.2021 ж. жарияланған) және «Металдардың бетіне детонациялық жабын жағу тәсілі» (№6665. 12.11.2021 ж. жарияланған).

Диссертациялық жұмыстың нәтижесін ««ӨФ «BEST»» ЖШС (керамикалық зауыты) өндірісіне экономикалық әсерсіз енгізу актісі алынды.

**Диссертациялық жұмыс тақырыбының ғылыми-зерттеу жобаларымен байланысы.** Диссертация «Беттік инженерия және трибология» зертханасында және Сәрсен Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университетінің ұжымдық қолданыстағы Ұлттық ғылыми зертханасында (Өскемен қ., Қазақстан) және Дәулет Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан Техникалық Университетінің «Базалық инженерлік дайындық» факультетінде (Өскемен қ., Қазақстан) орындалды.

Зерттеу жұмысы гранттық және бағдарламалық-нысаналы қаржыландырудың мынадай жобаларын іске асыру шеңберінде жүргізілді:

ҚР БЖҒМ Ғылым комитетінің қаржыландыруымен «Машина жасау бұйымдарына арналған тозуға төзімді материалдар алудың инновациялық технологияларын зерттеу және әзірлеу» тақырыбы бойынша, мемлекеттік тіркеу №BR05236748, Келісімшарт №197, 16.03.2018 ж.

**Автордың жеке үлесі.** Автордың жеке үлесі диссертациялық зерттеу тақырыбына арналған әдеби мерзімді басылымдарды іздеу мен талдаудан тұрады. Ғылыми кеңесшілермен бірге зерттеудің мақсаттары мен міндеттері анықталды, оксидті жабындарды зерттеу әдістері таңдалды. Диссертация авторы сынамаларды дайындауға тікелей қатысты, фазалық құрамын, бетінің морфологиясын зерттеді, беттің микроқаттылығы мен наноқаттылығын және алынған оксидті жабындардың тереңдігін өлшеді, сондай-ақ нәтижелерді талқылауға және басылымдарды жазуға қатысты. Алынған нәтижелерді талдау және негізгі қорытындыларды тұжырымдау ғылыми кеңесшілермен бірлесіп жүргізілді.

**Жұмыста алынған нәтижелер мен жасалған қорытындылардың сенімділік деңгейі және түсіндірмесі.** Жұмыста алынған нәтижелердің негізділігі мен сенімділігі мәселенің қойылуының түпнұсқалығы мен анықтығымен, жақсы тексерілген эксперименттік зерттеу әдістерін таңдаумен және қолданумен, эксперименттік мәліметтердің көлемімен және

статистикасымен қамтамасыз етіледі. Зерттеу нәтижелері ашық түрде тексерілді: ғылыми журналдарда жарияланды, автор халықаралық және республикалық конференцияларда баяндама жасады.

**Диссертациялық жұмыстың апробациясы.** Диссертациялық жұмыстың материалдары ғылыми конференцияларда баяндалды және талқыланды:

1. V - Республикалық ғылыми-техникалық конференция «Жаңа функционалдық материалдар, заманауи технологиялар және зерттеу әдістері», (Гомель, Беларусь, 2018);

2. XVIII - Халықаралық IUPAC симпозиумы Макромолекулалық-Металлкешендері (Мәскеу, 2019);

3. XIV - Халықаралық конференция «Жаңа материалдармен технологиялар: Ұнтақты металлургия, композициялық материалдар, қорғаныш жабындар, дәнекерлеу» (Минск, Беларусь, 2020);

4. VI - Халықаралық конференция «Лазерлік, плазмалық зерттеулермен технологиялар, - ЛАПЛАЗ-2020» (Мәскеу, 2020);

5. VI - Халықаралық ғылыми-техникалық конференция «Жастар шығармашылығы – Қазақстанның инновациялық дамуына» Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан мемлекеттік техникалық университеті (Өскемен, 2020);

6. VII - Халықаралық ғылыми-техникалық конференция "Жастар шығармашылығы-Қазақстанның инновациялық дамуы" Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті (Өскемен, 2021);

7. Advanced materials manufacturing and research: new technologies and techniques (AMM&R2021) international conference to be hosted virtually by D.Serikbayev East Kazakhstan technical university (Ust-Kamenogorsk, 2021).

Бұдан басқа, диссертациялық жұмыстың негізгі нәтижелері физика кафедрасының ғылыми семинарларында, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан университетінің негізгі инженерлік дайындық факультетінің бірлескен ғылыми семинарларында, С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университетінің «Беттік инженерия және трибология» ғылыми-зерттеу орталығының ғылыми семинарларында баяндалып, талқыланды.

**Мақалалар.** Диссертация тақырыбы бойынша барлығы 14 ғылыми мақала, Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігі Білім және ғылым сапасын қамтамасыз ету комитеті бекіткен ғылыми басылымдарда 5 мақала, 2 мақала жарияланған. Coatings» (Q2) және «Materials Research Express» (Q3), Web of Science Core Collection (ClarivateAnalytics) және Scopus халықаралық ақпараттық ресурстарына енгізілген журналдарда, халықаралық конференциялар материалдарының жинақтарында 7 мақала, пайдалы модельдерге 2 патент алынды.

**Диссертациялық жұмыстың құрылымы мен көлемі.** Диссертация кіріспеден, төрт тараудан, қорытынды мен пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады, барлығы 158 бет, 76 сурет, 19 кесте, 307 қолданылған әдебиеттер тізімі, 6 қосымша.