

«Алюминий және цирконий оксидтері негізіндегі детонациялық жабындардың құрылымы мен физика-механикалық қасиеттерін зерттеу» тақырыбы бойынша 6D072300 – «Техникалық физика» мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін

ҚАНТАЙ НҰРҒАМИТТЫҢ
дайындаған диссертациясының
АНДАТПАСЫ

Диссертациялық жұмыс алюминий және цирконий оксидтері негізіндегі жабындардың трибологиялық және механикалық сипаттамаларын жоғарлату мен детонациялық тозандау процесін оңтайландыруға арналған. Сонымен қатар, жабындардың құрылым-фазалық күйімен физика-механикалық қасиеттерінің қалыптасуына детонациялық тозандатудың технологиялық параметрлерінің әсері зерттелді. Атап айтқанда, тозандандырудың технологиялық параметрлеріне (ату жиілігі, оқпанды толтыру көлемі) және термиялық күйдіру температурасына байланысты алюминий оксиді жабындарының құрылымы, фазалық құрамы, микроқаттылығы, наноқаттылығы, коррозия, тозу, абразивті эрозия және ыстыққа төзімділігі зерттелді. Жоғары қаттылыққа, тозуға төзімділікке және адгезиялық беріктікке ие алюминий оксидінен градиентті жабын алу әдісі әзірленді.

Зерттеу тақырыбының өзектілігі.

Қазіргі кезде машина жасауда қолданылатын материалдар беті технологиялық процесте маңызды рөл атқарады, себебі олардың күйі машина мен құралдардың эксплуатациялық (пайдалану) қасиеттеріне әсер етеді. Машина бөлшектерін, құрал-саймандар мен технологиялық жабдықтарды пайдалану кезінде олардың беткі қабаты қарқынды әсерге ұшырайды. Қазіргі уақытта металл мен қорытпалар бетінің физика-механикалық қасиеттерін жақсарту үшін физика-механикалық сипаттамасы жоғары болып келетін, атап айтқанда: қаттылық, тозуға төзімділік және агрессивті ортаның әсері, төмен жылу және электр өткізгіштік, т.б. қорғаныс жабындары қолданылады, бұл өз кезегінде бөлшектердің қызмет ету мерзімі мен сенімділігін едәуір арттыруға мүмкіндік береді. Жоғарыда аталған талаптарға сай келетін қорғаныс жабындарын жасау үшін алюминий және цирконий оксидтері негіздегі керамика кеңінен қолданылады. Алюминий және цирконий оксидтері керамикаға тән қасиеттерге ие бола отырып, металға беріктік қасиет береді. Алюминий және цирконий оксидтері негіздегі жабындар жоғары химиялық және термиялық тұрақтылыққа ие болғандықтан, үлкен практикалық қызығушылық тудырып отыр. Олар әдетте, жоғары температуралы агрессивті ортада металдың коррозияға төзімділігін арттыру үшін кең қолданысқа ие.

Алюминий және цирконий оксидтері негізіндегі жабындарды алу үшін анодтау, термиялық тотығу (ТТ), газ-термиялық тозандау (ГТТ), микродоғалы тотығу (МДТ) және т. б. әдістері кеңінен қолданылады. Олардың ішінде жекелеген бөлшектер мен тұтас құрылымдарды тозудан, коррозиядан, қызып кетуден, агрессивті орта әсерінен сақтап, т. б. қорғау

мәселелерін шешуге мүмкіндік беретіндіктен, газотермиялық тозаңдату әдісінің перспективасы өте жоғары. Газ-термиялық тозаңдау әдістеріне жататын плазмалық, жалындық және детонациялық тозаңдау технологиясын қолдана отырып, оксидтер негізіндегі жабындарды алуға арналған көптеген жұмыстар бар.

Алюминий оксиді бірнеше полиморфты түрлерді немесе бірдей химиялық құрамы бар формаларды, кристалдық тордың әртүрлі құрылымын және әртүрлі қасиеттерді қалыптастырады. Термиялық өңдеу кезінде алюминий оксиді $\alpha \rightarrow \gamma$ түрленуге ұшыраса, цирконий қызған кезде деструктивті фазалық өзгерістерге ұшырайды. Сондықтан, термиялық тозаңдау түрі мен режиміне байланысты Al_2O_3 және ZrO_2 -ден жабындардың құрылым-фазалық күйлерінің түзілуін зерттеу үлкен қызығушылық тудырып отыр. Плазмалық, газ жалыны және детонациялық тозаңдау әдістерін қолдана отырып, алюминий оксиді жабындарын алу үшін, әдетте бастапқы ұнтақ ретінде $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ қолданылады. Корундты ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) газ жалынымен тозаңдаған жағдайда алынған жабын іс жүзінде $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ тұрады, ал плазмалық және детонациялық тозаңдау кезінде $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ және $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ -тен тұратын екі фазалы жабындар түзіледі. Бірақ, алынған жабындардың негізгі фазасы $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ болғандықтан, ол салыстырмалы түрде бос құрылымға ие болып, $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ -ке қарағанда жинақылығы, қаттылығы, абразив пен коррозияға төзімділігі әлдеқайда төмен болады. Алюминий оксиді жабындарының физика-механикалық көрсеткіштерін құрамындағы $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ үлесін арттыру арқылы да жақсартуға болады. Ал ZrO_2 жабындарының физика-механикалық қасиеттерін жақсартуға тиімді тозаңдау параметрін таңдау арқылы да қол жеткізуге болады. Әдетте, Al_2O_3 және ZrO_2 жабындарының физикалық және механикалық қасиеттерін жақсарту үшін көлемді немесе беттік термиялық өңдеу түрлері қолданылады. Алайда, бұл жабындарды алу процесін күрделендіріп, экономикалық тұрғыдан тиімсіз болып келеді. Сондықтан, Al_2O_3 және ZrO_2 газотермиялық жабындарының физика-механикалық сипаттамаларын арттырудың негізгі міндеттерінің бірі – тозаңдау процесін оңтайландыру болып табылады. Бұл тозаңдау процесінің импульстік сипатымен ерекшеленетін және тозаңданатын ұнтақ материалының бөлшектерін үдету және қыздыру үшін газ жарылысын қолдану арқылы жүзеге асырылатын детонациялық тозаңдау кезінде мүмкін болады. Детонациялық тозаңдау кезінде ұнтақ материалы еріп, соққы толқынының әсерінен жоғары жылдамдықпен төсенішке қарай ұшады және оның бетіне жабын түзеді. Бұл жерде жоғары жылдамдықты қолдану жабын құрылымы мен оның физика-механикалық сипаттамаларының қалыптасуында маңызды рөл атқарады. Қазіргі уақытта керамикалық және металлокерамикалық жабындардың, соның ішінде алюминий және цирконий оксидтерінің жабындарының қасиеттерін толық болжауға мүмкіндік беретін детонациялық тозаңдаудың технологиялық параметрлерін есептеудің нақты әдістері жоқ. Осыны ескере отырып, диссертациялық жұмыста детонациялық жабындардың қасиетін анықтайтын технологиялық параметрлер эксперименталды түрде анықталды.

Жоғарыда айтылғандарға байланысты диссертациялық жұмыста орын алған жоғары трибологиялық және механикалық сипаттамалары бар алюминий және цирконий оксидтерінен жабындар алу үшін детонациялық тозаңдау әдісін жетілдіру, сондай-ақ детонациялық тозаңдаудың технологиялық параметрлерінің алюминий және цирконий оксиді жабындарының құрылым-фазалық күйі мен физика-механикалық қасиеттерін қалыптастыруға әсерін тәжірибелік зерттеу мәселелері өзекті болып табылады.

Диссертациялық жұмыстың мақсаты детонациялық тозаңдаудың технологиялық параметрлерінің алюминий және цирконий оксидтері негізіндегі детонациялық жабындардың құрылым-фазалық күйі мен физика-механикалық қасиеттерін қалыптастыруға әсерін зерттеу болып табылады.

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

- детонациялық тозаңдау әдісі көмегімен алынған оксидті жабындардың құрылым-фазалық өзгерісін, трибологиялық қасиетін, қаттылығын және адгезиялық беріктігі мен коррозияға төзімділігін салыстырмалы зерттеу;

- детонациялық тозаңдау әдісімен алынған алюминий және цирконий оксидтері негізіндегі жабындардың құрылымы мен қасиеттеріне термиялық өңдеудің әсерін зерттеу;

- детонациялық тозаңдау кезінде ату жиілігінің алюминий оксиді жабындарының құрылымы мен қасиетіне әсерін зерттеу;

- детонациялық оқпанды жарылғыш қоспамен толтыру дәрежесінің алюминий оксиді жабындарының құрылым-фазалық күйіне, механикалық және трибологиялық қасиеттерін қалыптастыруға әсерін зерттеу;

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

Зерттеу нысаны детонациялық тозаңдату әдісімен алынған алюминий және цирконий оксидтерінің жабындары.

Зерттеу пәні детонациялық тозаңдаудың технологиялық параметрі, термиялық өңдеуге дейінгі және одан кейінгі алюминий және цирконий оксидтері жабындарының 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, ыстыққа және коррозияға төзімділікке сынау.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы:

- алғаш рет детонациялық тозаңдаудың технологиялық параметрлерінің (ату жиілігі, оқпанды толтыру дәрежесі) алюминий оксиді жабындарының құрылымы, фазалық құрамы, механикалық және трибологиялық қасиеттеріне әсері туралы жүйелі эксперименттік деректер алынды;

- алғаш рет детонациялық оқпанды жарылғыш қоспамен толтыру дәрежесінің төмендеуі жабындардағы $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ фазасының көлемдік үлесінің

жоғарылауына, сол арқылы микроқаттылық пен тозуға төзімділіктің артуына әкелетіні анықталды;

- жарылғыш қоспамен детонациялық оқпанды толтыру деңгейін біртіндеп төмендету арқылы алюминий оксидінен градиентті жабын алудың жаңа тәсілі әзірленді. Бұл әдіс төсеніштің төменгі жағынан жоғарғы бетіне қарай өткенде $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ фазасы жоғарылайтын құрылымы бар жабынды алуға мүмкіндік беретіндігі анықталды. Алынған градиентті жабын жоғары қаттылыққа, тозуға төзімділікке және адгезиялық беріктікке ие болатыны зерттелді.

Қорғауға шығарылатын негізгі қағидалар:

1. Негізгі бөлігі $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ -тен тұратын аз мөлшерде $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ -і бар детонациялық жабынын 1200°C температурада термиялық өңдеу нәтижесінде $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ мөлшерін арттыратын құрылым-фазалық өзгерістер жүзеге асады. Бұл олардың қаттылығын 46%-ға және тозуға төзімділігін 40%-ға арттырады. 1000°C температурада термиялық өңдеуден кейін ZrO_2 жабынының микроқаттылығы 25%-ға артады.

2. Детонациялық тозаңдау әдісі арқылы алюминий оксиді жабындарын алуда детонациялық оқпанды (ствол) жарылғыш қоспамен толтыру дәрежесін 68%-дан 53%-ға дейін төмендету $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ фазасының көлемдік үлесін арттырады, нәтижесінде микроқаттылық $\sim 1,5$ есе жоғарылап, тозу қарқындылығы $\sim 2,5$ есе төмендейді.

3. Детонациялық оқпанды жарылғыш қоспамен толтыру дәрежесін 68%-дан 53%-ға дейін біртіндеп төмендету арқылы корунд ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) ұнтағын детонациялық тозаңдату барысында градиенттік құрылымға ие алюминий оксиді жабыны алынады. Ондағы $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ фазасының көлемдік үлесі төсеніштің төменгі жағынан жоғарғы бетіне қарай артады.

Жұмыстың ғылыми және практикалық маңыздылығы.

Жүргізілген зерттеулердің нәтижелері айтарлықтай ғылыми және практикалық құндылыққа ие. Жұмыста детонациялық әдіспен алынған алюминий және цирконий оксидтері негізіндегі оксидті жабындардың құрылым-фазалық және физика-механикалық қасиеттеріне салыстырмалы зерттеу жүргізілді, сондай-ақ құрылымдық-фазалық күйге үздіксіз детонациялық тозаңдаудың технологиялық параметрлерінің әсеріне кешенді тәжірибелік зерттеу жүргізілді. Алюминий оксиді жабындарының физика-механикалық қасиеттері детонациялық тозаңдау технологиясын одан әрі дамытуға ықпал етеді және алюминий оксиді негізіндегі ұнтақ материалдарынан қызметтік қасиеттері жоғарылатылған жабындарды алудың технологиялық процесі барысында кең қолданысқа ие бола алады. Зерттеу барысында әзірленген алюминий оксидінен градиентті жабын алу әдісі тозуға және коррозияға ұшырайтын болат бұйымдарының өнімділігін жақсартуда пайдаланылу мүмкіншілігі жоғары.

Әзірленген әдіске «Детонациялық жабынды жағу тәсілі» (№6204. 02.07.2021 ж. жарияланған) және «Металдардың бетіне детонациялық жабын жағу тәсілі» (№6665. 12.11.2021 ж. жарияланған) атты Қазақстан Республикасының пайдалы модельіне патенттер алынды.

Диссертациялық жұмыс нәтижесі бойынша ӨФ «BEST» ЖШС (Акт № 285, 12.07.2021 ж. керамикалық зауыт) өндірісіне экономикалық әсерсіз енгізу актісі алынды.

Диссертациялық жұмыс тақырыбының ғылыми-зерттеу жобаларымен байланысы. Диссертация Сәрсен Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті «Беттік инженерия және трибология» және ұжымдық қолданыстағы Ұлттық ғылыми зертханаларында (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, келісім-шарт №197, 16.03.2018 ж.

ҚР БЖҒМ Ғылым комитетінің ғылыми зерттеулерін гранттық қаржыландыруымен «Детонациялық көп қабатты жабындарды жағу жолымен центрден тепкіш сорғылардың жұмыс дөңгелектері қалақтарының тозуға және тоттануға төзімділігін арттыру» тақырыбы бойынша, мемлекеттік тіркеу № AP09058615, 2021-2023 ж.

Автордың жеке үлесі. Автордың жеке үлесі диссертациялық зерттеу тақырыбына арналған әдеби мерзімді басылымдарды іздеу мен талдаудан тұрады. Ғылыми кеңесшілермен бірге зерттеудің мақсаты 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 әзірлеуге 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 - XIV - Халықаралық конференция «Жаңа материалдар мен технологиялар: Ұнтақты металлургия, композициялық материалдар, қорғаныш жабындар, дәнекерлеу» (Минск, Беларусь, 2020);

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

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

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

5. 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 15 ғылыми мақала, атап айтқанда:

– Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің ғылым және жоғары білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитеті бекіткен ғылыми басылымдарда – 6 мақала;

– «Coatings» (Q2) және «Materials Research Express» (Q4), Web of Science Core Collection (ClarivateAnalytics) және Scopus халықаралық ақпараттық ресурстарына енгізілген журналдарда – 2 мақала;

– Халықаралық конференциялар материалдарының жинақтарында – 5 мақала және баяндама тезисі;

– Пайдалы модельдерге – 2 патент алынды.

Диссертациялық жұмыстың құрылымы мен көлемі. Диссертация кіріспе, төрт тараудан, қорытынды мен пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады, барлығы 152 бет, 76 сурет, 19 кесте, 283 қолданылған әдебиеттер тізімі, 6 қосымша.