

8D05301 – «Техникалық физика» мамандығы бойынша философия докторы
(PhD) дәрежесін алу үшін ұсынылған Мұқтанова Назеркенің
диссертациясына
АҢДАТПА

**«Жоғары жылдамдықты газдық жалынды тозаңдау кезінде WC-Co-Cr
жабындарының құрылымын, фазалық құрамын және қасиеттерін
қалыптастыру»**

Жұмыстың жалпы сипаттамасы. Диссертация тозуға және коррозияға жоғары төзімділігі бар кобальт-хром байланыстырғышы (WC-Co-Cr) бар вольфрам карбиді негізіндегі металл-керамикалық жабындарды әзірлеуге, сондай-ақ жоғары жылдамдықты газдық жалынмен тозаңдаудың (HVOF) технологиялық режимдеріне байланысты олардың құрылымының, фазалық құрамының және пайдалану қасиеттерінің қалыптасу заңдылықтарын зерттеуге арналған. Жұмыста шиберлі ысырмалардың жауапты бөлшектері үшін қолданылатын 30X13 болаттың бетіне жағылған WC-Co-Cr жабындарының микроқұрылымын, фазалық және элементтік құрамын, механикалық, трибологиялық және коррозиялық сипаттамаларын зерттеу нәтижелері келтірілген. Жоғары жылдамдықты газдық жалынды тозаңдау әдісімен алынған WC-Co-Cr жабындарының тозуға төзімділігіне кешенді эксперименттік зерттеулер жүргізілді. Диссертациялық жұмыс шеңберінде шибер ысырмаларының бөлшектеріне арналған тозуға төзімді WC-Co-Cr жабынын алу технологиясы әзірленді, ол 2025 жылдың 31 қаңтарында жарияланған №10138 «Жабын төселген шиберлі ысырма» пайдалы моделіне арналған Қазақстан Республикасының патентімен қорғалған.

Диссертациялық жұмыстың мақсаты: Тозуға, эрозияға және коррозияға төзімділігі жоғары WC-Co-Cr негізіндегі металл керамикалық жабындарды әзірлеу, сондай-ақ жоғары жылдамдықты газдық жалынмен тозаңдандырудың (HVOF) технологиялық режимдеріне және бастапқы ұнтақ материалының сипаттамаларына байланысты олардың құрылымы мен қасиеттерінің қалыптасу заңдылықтарын белгілеу.

Қойылған мақсатқа сәйкес келесі міндеттер тұжырымдалды:

- CFD модельдеуін қолдана отырып, HVOF-тозаңдауы кезінде әртүрлі фракциялы WC-Co-Cr ұнтақ бөлшектерінің үдеуі мен қызу заңдылықтарын орнату және ұнтақтың ұтымды фракциялық құрамын негіздеу;

- WC-Co-Cr жабындарының құрылымдық-фазалық күйіне ұнтақтың фракциялық құрамы мен морфологиясының әсерін анықтау;

- тозаңдау қашықтығына және жұмыс газдарының шығынына байланысты WC-Co-Cr жабын құрылымының қалыптасу заңдылықтарын анықтау;

- WC-Co-Cr жабындарының механикалық, трибологиялық және коррозиялық сипаттамаларына микроқұрылымдық параметрлердің әсерін анықтау;

- абразивті, гидроабразивті және эрозиялық әсер ету жағдайында WC-Co-Cr жабындарының жұмыс төзімділігіне кешенді бағалау жүргізу.

Зерттеу нысаны – жоғары жылдамдықты газдық жалынмен тозаңдау арқылы алынған WC-Co-Cr жабыны.

Зерттеу пәні – WC-Co-Cr жабындарының құрылымдық-фазалық күйі, қалыптасу және ыдырау механизмдері, сондай-ақ олардың тозаңдаудың технологиялық параметрлерімен және бастапқы ұнтақ материалының сипаттамаларымен байланысы.

Зерттеу әдістері. Жұмыс заманауи эксперименттік және есептік әдістер кешенін пайдалана отырып орындалды: сканерлеуші электрондық микроскопия, энергодисперсиялық талдау, рентгенофазалық талдау, микроқаттылық (MEMCT 9450-76), «шар-диск» сызбасы бойынша трибологиялық сынақтар (ASTM G99), абразивті тозуға төзімділік сынақтары (MEMCT 23.208-79), гидроабразивті тозуға төзімділік сынақтары (ASTM G134-95), жұлып алу әдісімен адгезия сынақтары (ASTM C633-01), тұзды тұманында коррозияға сынақтар (MEMCT 9.308-85), электрохимиялық коррозияны зерттеулер (ASTM G59-13), эрозияға төзімділік сынақтары (ASTM G76-04) және HVOF ағынындағы бөлшектер динамикасын CFD модельдеу. Әдістемелік тәсіл технологиялық процесс параметрлерінің, құрылымдық-фазалық күйдің және жабындардың пайдалану қасиеттерінің өзара байланысын жүйелі талдауға негізделген.

Жұмысты орындау кезінде Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университетінің «Қорғаныс және функционалдық жабындар» ғылыми орталығының, С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университетінің «Беттік инженерия және трибология» ғылыми-зерттеу орталығының, «PlasmaScience» ЖШС және Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университетінің ғылыми зертханаларының, сондай-ақ Вроцлав ғылым және технология университетінің (Вроцлав қ., Польша) ресурстары мен жабдықтары пайдаланылды.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы:

- Алғаш рет 30X13 болатына WC-Co-Cr жабындарын HVOF әдісімен тозаңдаудың ұтымды режимдері ғылыми тұрғыдан негізделді, олар тығыз құрылымның қалыптасуын және физикалық-механикалық және трибологиялық сипаттамалардың жақсаруын қамтамасыз етеді;

- Алғаш рет WC-Co-Cr бөлшектерінің температуралық-жылдамдық сипаттамаларының WC/W₂C фазалық қатынасына және жабындардың кеуектілігіне әсер ету заңдылықтары анықталды.

- WC-Co-Cr жабындарының микроқұрылымдық параметрлері, фазалық құрамы мен кеуектілігінің абразивті, гидроабразивті, эрозиялық және коррозиялық бұзылу механизмдерімен арасындағы өзара байланысы анықталды.

Қорғауға шығарылатын негізгі қағидалар:

1. HVOF-тозаңдауы кезіндегі жоғары жылдамдықты ағындағы газдық-динамикалық және жылулық процестерді CFD-модельдеу арқылы WC-Co-Cr ұнтағының ұтымды фракциялық құрамы ғылыми тұрғыда

негізделді, соның нәтижесінде бөлшектерінің ұшу жылдамдығы 800-900 м/с және қызу температурасы шамамен 1400 °С болатын оңтайлы үйлесім қамтамасыз етіліп, байланыстырушы метал фазаның илемділігі артады, соққы кезіндегі қарқынды деформациясы жүреді және асқынқызусыз тығыз жабын қалыптасады.

2. WC-Co-Cr жабындарының фазалық құрамына, кеуектілігіне және физикалық-механикалық қасиеттеріне HVOF-тозаңдау қашықтығының, жұмыс газдар шығыны мен ұнтақтың фракциялық құрамының әсер ету заңдылықтары анықталды.

3. HVOF әдісімен 30X13 болатының бетіне 300 мм тозаңдау қашықтығында, оттегі шығыны 170 л/мин және ұнтақтың фракциясы 21-35 мкм шамасында алынған WC-Co-Cr жабындарының эксплуатациялық сипаттамалары, яғни абразивтік тозуға төзімділігі 9 есе, гидроабразивтік тозуға төзімділігі 5 есе, эрозиялық төзімділігі 1,4 есе және коррозиялық төзімділігі 5,2 есе артқаны зертханалық және стендтік сынақтар арқылы расталды.

Жұмыстың негізгі нәтижелері. Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде HVOF әдісімен алынған WC-Co-Cr жабындарының қасиеттеріне технологиялық параметрлердің айтарлықтай әсер ететіні анықталды. CFD-модельдеу газ ағыны температурасы, қысымы және жылдамдығының жабын қалыптасуына маңызды рөл атқаратынын көрсетті. Зерттеу барысында бөлшек өлшемі 21-35 мкм болатын ұнтақтардың температура мен жылдамдықтың оңтайлы тепе-теңдігін қамтамасыз ететіні және 300 мм тозаңдау қашықтығы ең тиімді режим екені анықталды. Тәжірибелік нәтижелер модельдеу деректерімен жақсы сәйкестік көрсетіп, қолданылған әдістің сенімділігін дәлелдеді. Сонымен қатар оттегі шығыны, ұнтақтың гранулометриялық құрамы және тозаңдау қашықтығы жабынның құрылымы, фазалық құрамы, микроқаттылығы мен тозуға төзімділігіне елеулі әсер ететіні анықталды. Оңтайлы параметрлер кезінде жабын жоғары қаттылықпен, төмен кеуектілікпен және жоғары адгезиялық беріктікпен сипатталды. Зерттеу нәтижесінде WC-Co-Cr жабындары 30X13 болатының коррозияға, эрозияға, абразивті және гидроабразивті тозуға төзімділігін айтарлықтай арттыратыны дәлелденді. Бұл нәтижелер агрессивті пайдалану жағдайында жұмыс істейтін бөлшектерді қорғауға арналған тиімді технологияларды дамыту үшін ғылыми негіз болып табылады.

Ғылыми нәтижелердің практикалық маңыздылығы. Алынған нәтижелер газотермиялық кермет жабындарын қалыптастыру процестері туралы физика-металлургиялық идеялардың дамуына ықпал етеді және жоғары жылдамдықты тозаңдау жағдайында құрылымның теориялық модельдерін жасауда қолданыла алады. WC-Co-Cr жабындарын алудың ғылыми негізделген технологиясы әзірленді, бұл шибер ысырмаларының компоненттерін өндіру үшін кеңінен қолданылатын 30X13 болаттың трибологиялық және коррозиялық қасиеттерін айтарлықтай жақсартуды қамтамасыз етеді. Әзірленген технология гальваникалық хромдаудың экологиялық қауіпсіз баламасы болып табылады және оны құбыр арматурасын

шығаратын кәсіпорындарға енгізуге болады. Тәжірибелік маңыздылығы пайдалы модельге арналған Қазақстан Республикасының патентімен расталған («Жабын төселген шиберлі ысырма» № 10138, 2025 жылдың 31 қаңтарында жарияланған).

Жұмыстың ғылыми-зерттеу жобаларымен байланысы. «Жоғары жылдамдықты газдық жалынды тозаңдау кезінде WC-Co-Cr жабындарының құрылымын, фазалық құрамын және қасиеттерін қалыптастыру» тақырыбындағы диссертация ғылыми дамудың «Энергетика және машина жасау», «Энергия, озық материалдар және көлік», «Озық өндіріс, цифрлық және ғарыштық технологиялар» басым бағыттарына сәйкес келеді және Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландыратын жобалар шеңберінде орындалды:

BR24992854 «Шығыс Қазақстан облысының тау-кен металлургия өнеркәсібінің тұрақты дамуын қамтамасыз ету үшін бәсекеге қабілетті ғылыми негізделген технологияларды әзірлеу және енгізу», 2024-2026 жылдарға арналған ғылыми және (немесе) ғылыми-техникалық бағдарламалар бойынша бағдарламалық-нысаналы қаржыландыру.

AP14870977 «Мұнай өндіру өнеркәсібінде пайдаланылатын шиберлі ысырмалар бөлшектерінің пайдалану сипаттамаларын арттыру», 2022-2024 жылдарға арналған ғылыми және (немесе) ғылыми-техникалық жобаларды гранттық қаржыландыру.

Автордың жеке үлесі. Автордың жеке үлесі эксперименттік-зерттеу жұмыстарын жүргізу, диссертацияда ұсынылған нәтижелерді талдау, сондай-ақ ғылыми мақалалар жазу болып табылады. Диссертациялық жұмыстың мақсаты мен міндеттерін анықтау, негізгі тұжырымдарды тұжырымдау ғылыми жетекшілермен бірлесіп жүзеге асырылды.

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

Жұмыс нәтижелерін апробациялау. Диссертацияның негізгі нәтижелері келесі ғылыми шараларда баяндалды және талқыланды: «XL Jesienna Szkoła Tribologiczna» халықаралық конференциясы, Буковина қ., Польша, 13-16 қыркүйек 2022 ж.; С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университетінің 70 жылдығына арналған «Қазіргі заманғы қиындықтар аясындағы ғылым мен білім берудің өзекті мәселелері» халықаралық ғылыми-практикалық конференциясы, Өскемен қ., Қазақстан, 2022 жылғы 16-17 қыркүйек.; «Қазіргі заманғы физиканың іргелі және қолданбалы мәселелері» атты халықаралық конференция, Ташкент қ., Өзбекстан, 2023 жылғы 19-21 қазан; Қаныш Сәтпаевтың 125 жылдығына арналған «Жастардың шығармашылығы - Қазақстанның инновациялық дамуы» атты 10-шы халықаралық ғылыми-техникалық конференция, Өскемен қ., 2024 жылғы 11-12 сәуір, сондай-ақ, Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық

университетінің базалық инженерлік даярлық факультетінің және Сәрсен Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университетінің «Беткі инженерия және трибология» ғылыми-зерттеу орталығының ғылыми семинарларында талқыланды.

Жарияланымдар. Диссертация тақырыбы бойынша 12 жұмыс жарияланды, оның ішінде Web of Science және Scopus дерекқорларында индекстелетін рецензияланған ғылыми басылымдарда 4 мақала, Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым және жоғары білім беру саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитеті ұсынған журналдарда 4 мақала, республикалық және халықаралық конференциялар материалдары мен басқа да ғылыми басылымдарда 4 жұмыс, сондай-ақ пайдалы модельге арналған Қазақстан Республикасының 1 патенті бар.

Диссертацияның құрылымы мен көлемі. Диссертация кіріспеден, бес бөлімнен, қорытындыдан, 137 пайдаланылған әдебиеттер тізімінен және бір қосымшадан тұрады. Диссертацияның жалпы көлемі 140 беттен тұрады, оның ішінде 73 сурет және 20 кесте бар.