

«8D07103 – «Жылу энергетикасы» білім беру бағдарламасы бойынша
философия ғылымдарының докторы (PhD) дәрежесін алуға арналған
диссертациялық жұмысқа
АНДАТПА

ДАУТБЕКОВ МЕРХАТ КУРМЕТОВИЧ

$\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ негізіндегі жабындарды қолдану арқылы қазандықтың қыздыру беттерінің коррозияға төзімділігін арттыру

Жұмыстың жалпы сипаттамасы. Диссертациялық жұмыс $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ қорғаныс жабындарын детонациялық бүрку арқылы алуға және технологиялық режимдерге байланысты олардың құрылымдық-фазалық күйі мен трибологиялық қасиеттерін зерттеуге арналған. Сондай-ақ, жұмыста қазандық агрегаттарының құбырларының температуралық күйін сандық модельдеу нәтижелері және жоғары температуралық жұмыс жағдайында жабындардың тиімділігін растайтын эксперименттік зерттеулер ұсынылған.

Тақырыптың өзектілігі. Қазақстанның энергетикасы таяу жылдары барланған қорлары 34 млрд. т. (әлемнің шамамен 4%) құрайтын көмірді пайдаланумен тығыз байланысты болып қалады. Көмір елдің отын-энергетикалық балансында жетекші орын алады, бұл ретте электр энергиясының 79% жылу электр станцияларында (ЖЭС) өндіріледі. Қазақстан Республикасының жылу электр станциясы жабдықтарының жартысынан астамы 30 жылдан астам уақыт бойы пайдаланылып келеді, бұл жабдықтардың ескіруіне байланысты істен шығу санының өсуіне алып келеді. Қазандық агрегаттарының істен шығуының негізгі себептері қыздыру беттерінің құбырларының бұзылуы болып табылады, олар барлық зақымданулардың 70% - на дейін тиесілі. Қыздыру беттері жоғары температураның (600-1200 °C дейін), агрессивті газ ортасының және абразивті күл бөлшектерінің экстремалды әсер ету жағдайында жұмыс істейді, бұл жоғары температуралық коррозияның, эрозияның және термоциклді бұзылудың қарқынды процестерін тудырады. Ыстыққа төзімді болаттардан (12X1МФ, 15X5М, 20X3МВФ және т.б.) жасалған бу қыздырғыштардың құбырларының деградациясының негізгі себебі отынның жану өнімдерімен жанасу кезінде олардың сыртқы бетінде жүретін тотығу және сульфидтеу процестерінің жиынтық әсері болып табылады. Бұл өнімдерде күкірт, хлор, ванадий және сілтілі металдар бар, бұл құбыр материалының тез бұзылуына әкеледі. 410-550 °C-тан жоғары температурада олардың бетінде қорғаныш қасиеттерін жоғалтатын борпылдақ көп қабатты тотықты қабықшалар пайда болады, бұл коррозиялық ошақтардың тез өсуіне және металдың жоғалуына әкеледі.

Ескірген жабдықтың пайдалану сипаттамалары мен ресурсын арттырудың перспективалық бағыттарының бірі қазандықтың қыздыру беттерінде қорғаныш композициялық жабындарды қолдану болып табылады. Болаттарды 900-1000 °C дейінгі температурада газ коррозиясынан, сульфидациядан және тотығудан сенімді қорғауды қамтамасыз ететін

газотермиялық әдістермен қолданылатын $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ жабындары ерекше қызығушылық тудырады. Ыстыққа төзімді материалдардың жылу-физикалық қасиеттерін көптеген зерттеулерге қарамастан, осы уақытқа дейін тұрақты отынды пайдаланатын қазандық агрегаттарының қыздыру беттерінің пайдалану сипаттамаларын арттыруды қамтамасыз ететін қорғаныс жабындарын қолданудың тиімді технологиясы әзірленбеген. Сонымен қатар, құбырларды жасау үшін қолданылатын ыстыққа төзімді болаттардың пайдалану қасиеттері егжей-тегжейлі зерттелген, ал қорғаныс жабындары бар құбырлардың жылу өткізгіштігі мен деградация процестері әлі де жеткілікті зерттелмеген. Бұл саладағы зерттеу қазандық қондырғыларының энергия тиімділігі мен сенімділігін арттырумен тығыз байланысты өзекті міндет болып табылады.

Диссертацияның мақсаты: градиенттік құрылымы бар $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ қорғаныш детонациялық жабындарды қолдану технологиясын әзірлеу және ғылыми негіздеу арқылы ЖЭС қазандық агрегаттарының қыздыру беттерінің пайдалану қасиеттерін жақсарту.

Зерттеу міндеттері:

- детонациялық қорғаныс жабындарын қолдану технологиясын әзірлеу және алынған $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ жабынының жылу-физикалық және физикалық-механикалық қасиеттерін, құрылымы мен сипаттамаларын зерттеу.
- агрессивті ортада қорғаныс жабындарына электрохимиялық сынақтар жүргізу және олардың коррозияға төзімділігін бағалау.
- қазандықтың радиациялық-конвективті учаскесінің жұмыс жағдайын имитациялайтын эксперименттік стендтің прототипін әзірлеу және қорғаныс жабындарының жоғары температуралы тотығуына сынақ нәтижелерін алу;

Зерттеу нысаны: 12X1МФ болат бетіндегі $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ детонациялық жабындары.

Зерттеу пәні: $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ жабыны бар қазандықтардың қыздыру беттерінің коррозиялық және жылу-физикалық сипаттамалары.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы:

- $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ детонациялық жабындары бар қыздыру беттерінің техникалық күйінің математикалық моделі алғаш рет ELCUT және SolidWorks бағдарламалық кешендеріндегі соңғы элементтерді сандық модельдеумен бірге көп қабатты цилиндрлік қабырға арқылы жылу ағынының сызықтық тығыздығын есептеуге негізделген, қалыңдығы 100 мкм градиентті жабынның жылу-физикалық қасиеттерін сандық негіздеуге мүмкіндік береді;
- Алғаш рет $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ қорғаныс детонациялық жабындарын алу әдісі әзірленді және эксперименталды негізделді, бір ұнтақ түрін қолданған кезде оқпанды жарылғыш қоспамен (57% - дан 73% - ға дейін) толтыру көлемін бақыланатын өзгерту арқылы градиентті фазалық үлестіру;
- ASTM G76-04 стандартының негізінде жоғары температуралық тотығу мен тозуға жеделдетілген сынақтар жүргізу үшін әдіс және зертханалық эксперименттік стенд әзірленді, бұл қазандық агрегаттарының радиациялық-конвективті беттерін пайдалану жағдайларына барынша жақындата отырып

жоғары температураның (750 градусқа дейін), агрессивті ортаның (Na_2SO_4) және эрозиялық бөлшектердің (Al_2O_3) әсерін модельдеуге мүмкіндік береді.

Зерттеу жұмысының ғылымның даму бағыттарына немесе мемлекеттік бағдарламаларға сәйкестігі:

Зерттеу тақырыбы "Энергия, озық материалдар және көлік" Қазақстан Республикасының ғылымын дамытудың 2023-2029 жылдарға арналған басым бағыттарына, сондай-ақ энергетикалық қондырғылардың тиімділігін, экологиялылығы мен сенімділігін арттыруға бағытталған Қазақстан Республикасының Электр энергетикасы саласын дамытудың 2023-2029 жылдарға арналған тұжырымдамасының ережелеріне сәйкес келеді.

Жұмыс ғылыми және (немесе) ғылыми-техникалық жобалар бойынша гранттық қаржыландыруға арналған 2021-2023 жылдарға арналған конкурс жобасы AP22683418 "Қарқынды тозу, эрозия және коррозия жағдайында жұмыс істейтін энергетикалық жабдық бөлшектерінің қызмет ету мерзімін арттыру" және 2024-2026 жылдарға арналған "Жас ғалым" жобасы AP09261164 "Жылу электр станциясы қазандықтарының болат элементтерінің коррозиялық және эрозиялық тозуға төзімділігін арттыру" жобалар шеңберінде орындалды.

Қорғауға ұсынылған ғылыми тұжырымдар:

– 57-73% диапазонында детонациялық оқпанды толтырудың өзгеруі $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ градиентті жабынын қалыптастыруға мүмкіндік береді, төсеніш жағы металл пластикалық матрицадан (Cr_3Ni_2 , Cr_3Ni_2) беткі қабаты қатты карбидті фазаға ауысады, бұл тозуға төзімділік пен адгезияның оңтайлы тепе-теңдігін қамтамасыз етеді;

– Стационарлық коррозия потенциалының E_{corr} пассивация аймағына ауысуы пассивация аймағына потенциалдың ығысуы және коррозия жылдамдығын жылына $0,287 \times 10^{-4}$ мм-ге дейін төмендету коррозиялық бұзылулардың болмауын, сондай-ақ жоғары қысымды қазандықта 4320 сағаттық сынақтан кейін $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ қорғаныш жабыны бар үлгілердің тұрақтылығын (беріктіктің механикалық сипаттамаларының шегі 1,9-2,1% - ға жоғары) қамтамасыз етеді;

– Қалыңдығы 100 мкм $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ жабыны жылу алмасуды нашарлатпайды (жылу кедергісінің өсуі $<0,01\%$), бұл ретте істен шығу қарқындылығын 60% төмендету есебінен құбырлардың сенімділігін арттырады және 50 цикл бойы 650 °C температурада циклдік жоғары температуралық тотығуға төзімділікті қамтамасыз етеді.

Зерттеудің теориялық маңыздылығы. Қазандық құбырларының термофизикалық күйін сандық негіздеу үшін математикалық модельдің нәтижелері және детонациялық оқпанды толтыру көлемін өзгерту арқылы $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ градиентті құрылымдарын қалыптастыру әдісінің ғылыми негіздемесі. Бүркудің технологиялық режимдеріне байланысты жабындардағы фазалық ауысулар мен құрылымдық өзгерістердің іргелі заңдылықтары белгіленді, бұл олардың қорғаныс және трибологиялық қасиеттерін мақсатты басқаруға мүмкіндік береді.

Зерттеудің практикалық маңыздылығы. Алынған нәтижелер қазандық агрегаттарының қыздыру беттерінің пайдалану қасиеттерін арттыру үшін

пайдаланылуы мүмкін. Детонациялық бүркудің технологиялық режимдеріне байланысты жабындардағы фазалық ауысулар мен құрылымдық өзгерістердің іргелі заңдылықтары белгіленді, бұл олардың қорғаныс және трибологиялық қасиеттерін басқаруға мүмкіндік береді. Жоғары температуралы газ эрозиясы мен коррозияны стендтік сынаудың әзірленген әдістемесі жоғары қысымды қазандықтың радиациялық-конвективті және конвективті учаскелерінің жұмыс жағдайларын қайталауға мүмкіндік береді және құбырлар бетінің қорғаныс қасиеттерінің тиімділігін бағалау үшін қолданыла алады. Диссертациялық жұмыстың нәтижелері 2024 жылы 6B07103 «Жылу энергетикасы» білім беру бағдарламаларын іске асыру кезінде «Дәулет Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті» КЕАҚ-да қолданылады (элективті пәндер курстары: "РК4306 қазандықтарды жобалау", "ТОЕ4309 электр станцияларының жылу механикалық жабдықтары", "TRU4309 жылу технологиялық процестер мен қондырғылар" (оқу процесінде пайдалану актісі 02.09.2024ж.). Диссертациялық зерттеу шеңберінде Қазақстан Республикасының өнертабысқа патентімен қорғалған детонациялық бүрку әдісімен қорғаныш жабындарын жағу тәсілі әзірленді (А Қосымшасы - детонациялық бүрку арқылы тозуға төзімді жабындарды алу тәсілі, №36690 12.04.2024 ж. жарияланған).

Автордың жеке үлесі. Ғылыми кеңесшімен бірлесіп зерттеудің мақсаты мен міндеттерін белгілеу, эксперименттерді өз бетінше жоспарлау және диссертацияда баяндалған эксперименттік нәтижелердің негізгі көлемін алу, алынған нәтижелерді талдау, қорғауға шығарылатын тұжырымдар мен ережелерді тұжырымдау, диссертация тақырыбы бойынша жарияланымдар дайындау.

Жұмыстың апробациясы. Диссертация және оның негізінде алынған нәтижелер аясында келесі материалдар жарияланды, ұсынылды және талқыланды.

Scopus халықаралық ғылыми дерекқорына кіретін импакт-факторы бар мақалалар:

Dautbekov M.K., Rakhadilov B.K., Zhurerova L.G., Kakimzhanov D.N., Elistratov S.L., Segeda T.A. A Technology for Making Detonation Coatings on Power Equipment Parts Made of Grade 12Kh1MF Steel // Thermal Engineering. – 2022. – Vol. 69(12). – P. 989-995. DOI:10.1134/S0040601522120011 (Scopus CiteScore (2022) 1.5, Процентиль 31-й #172/252 Energy Engineering and Power Technology Web of Science: квартиль Q3).

2. Rakhadilov B., Kakimzhanov D., **Dautbekov M.,** Sagdoldina Zh., Adylkanova M., Abylkalykova R. Influence of Spraying Parameters on the Structure and Tribological Properties of Cr3C2-NiCr Detonation Coatings // Advances in Tribology. – 2023. – Vol. 2023. – P. 9. DOI: <https://doi.org/10.1155/2023/6684656> (Scopus CiteScore (2023) 5.0 Процентиль 72-й #184/672 Mechanical Engineering, Процентиль 64-й #48/132 Surfaces, Coatings and Films Web of Science: квартиль Q2).

ҚР Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым және жоғары білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитеті ұсынған басылымдардағы мақалалар:

3. **Даутбеков М. К.**, Журерова Л. Г., Сатбаева З. А., Дүкендер н.м. университеттің Торайғыров хабаршысы жүктелген күйде жұмыс істейтін энергетикалық жабдық бөлшектерінің пайдалану қасиеттерін арттыру. - Жоқ. 2. - 79-93 ББ. DOI: <https://doi.org/10.48081/XONN28007>;

4. Б.К. Рахадиллов, **Даутбеков М. К.**, Л. Г. Журерова, О. А. Степанова, А. М. Ақаев. Жылу станцияларының энергетикалық жабдықтарының бөлшектеріне детонациялық бүрку әдісімен жабындарды алу технологиясы Торайғыров университеті хабаршысы № 2 Энергетикалық сериясы (2023), 282-394 ББ;

5. Какимжанов Д. Н., **Даутбеков М. К.**, Турабеков Е. С., Қуанышбай Р. М., Рүстемов А. С. Импульсті-плазмалық өңдеу қашықтығының өзгеруінің $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ детонациялық жабындарының қасиеттеріне әсері. Шәкәрім Университетінің Хабаршысы. Техникалық ғылымдар сериясы. 2024;1(4(16)):310-319;

6. Рахадиллов Б.К., Кәкімжанов Д.Н., **Даутбеков М. К.**, О. в. Колисниченко Энергетикалық жабдықтың бөлшектеріне дуплексті жабындарды алу технологиясы Торайғыров университеті хабаршысы № 3 Энергетикалық сериясы (2023), 306-318 ББ;

7. D. N. Kakimzhanov, B. K. Rakhadilov, Yu. N. Tyurin, O. V. Kolisnichenko, L. G. Zhureroва, **M.K. Dautbekov** Influence of pulsed plasma treatment on phase composition and hardness of $\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$ coatings Eurasian Journal of Physics and Functional Materials 2021. Vol.5, No.1(6) P 45-51.

Конференция материалдары, еңбектері мен плакаттары

8. **Dautbekov M.**, Improvement of Operational Properties of Power Equipment Parts Operating in a Loaded State //2024 IEEE 14th International Conference Nanomaterials: Applications & Properties (NAP). – IEEE, 2024.

9. **Даутбеков, М.** Энергетикалық жабдықтың бөлшектеріне детонациялық жабындарды жағу технологиясы / М. Даутбеков / / Қазақстан физикалық қоғамының (KPS) IV жыл сайынғы халықаралық конференциясы, 4-7 маусым 2025 ж.-Өскемен, 2025;

10. **Dautbekov, M.** Application of protective $\text{NiCr-Cr}_3\text{C}_2$ coatings on parts of power equipment operating under stressed conditions / M. Dautbekov, L. Zhureroва, D. Kakimzhanov // Proceedings of International Conference “Fundamental and Applied Problems of Modern Physics”. – Tashkent, 2023. – P. 18;

11. Magazov, N. M. Plasmatron for air plasma spraying of nitride coatings / N. M. Magazov, **M. K. Dautbekov** // World Conference on Materials Science and Nanotechnology (WCMSN-2022), November 7–8, 2022. – Bangkok, 2022. – P. 15

Патент

12. Өнертабысқа Патент № 360690., Детонациялық бүрку арқылы тозуға төзімді жабындарды алу әдісі.. Өнертабыстардың мемлекеттік тізілімінде тіркелген күні 12.04.2024., Б. К. Рахадиллов, Д. Н. Кәкімжанов, Ж. Б. Сағдолдина, **Даутбеков М. К.**

Диссертацияның көлемі мен құрылымы. Диссертация кіріспеден, төрт тараудан, қорытындыдан, 173 атаудан тұратын әдебиеттер тізімінен және 4 қосымшадан тұрады, 137 беттен тұратын баспа мәтінінен тұрады, 69 сурет пен 14 кестеден тұрады.