ЗЕЛЛЕЛЕ ДАНИЕЛЬ МЕКОННЕН

8D07110 «Материалтану және жаңа материалдар технологиясы» білім беру бағдарламасы бойынша философия докторы (PhD) ғылыми дәрежесін алу үшін дайындаған диссертациясына

АНДАТПА

Металдар мен қорытпаларға негізделген композициялық жабындардың электрохимиялық синтезі және функционалдық касиеттері

Жұмыстың жалпы сипаттамасы

Диссертациялық жұмыс электрохимиялық әдіспен алынған, жақсартылған функционалдық қасиеттері бар композициялық жабындардың түзілу процестерін эксперименттік зерттеуге, сондай-ақ хром–графен жабындары мен никель және кобальт негізіндегі қосарланған қорытпалар жабындарының көлемінде кристалдардың түзілу заңдылықтарын зерттеуге арналған.

Зерттеу тақырыбының өзектілігі

Белгілі болғандай, коррозияға қарсы төзімділік, тозуға төзімділік сияқты көптеген функционалдық қасиеттер машиналар мен жабдықтар бөлшектерінің бүкіл көлемі үшін әрдайым қажет бола бермейді. Алайда бұл қасиеттер құраушы элементтердің беткі қабаттарында аса маңызды болып табылады және аспаптар мен өнеркәсіптік жабдықтардың қызмет ету мерзімі мен ұзақтылығын арттыруға мүмкіндік береді. Қорғаудың ең тиімді әдістерінің ішінде жетекші орын композициялық электролиттік жабындарға (КЭЖ) тиесілі, олар дисперсті бөлшектермен құрылымдалған металл матрицаларынан, сондай-ақ қосарланған қорытпалардан тұрады.

Диссертациялық жұмыстың мақсаты

Электрохимиялық синтезделген метал және олардың қорытпалары негізіндегі композиттік жабындарды (никель-мыс, хром-графен, кобальт-ванадий) дайындау, оңтайландыру мен сипаттау және олардың функционалдық сипаттамалары бойынша құрылымдық-қасиеттік байланыстарын орнату.

Бұл мақсатқа жету үшін келесі зерттеу міндеттерін орындау қажет:

• Электрохимиялық тұндыру параметрлерін жобалау және оңтайландыру үшін (электролит құрамы, pH, ток тығыздығы) әр түрлі төсеніштерде біркелкі және жабысатын метал мен олардың қорытпалары негізіндегі композиттік жабындарды өндіру және каптамалардың нуклеациясына, өсуіне және микроқұрылымдық эволюциясына электрохимиялық синтез жағдайларының әсерін зерттеу.

• СЭМ/ЭДС, РСТ, АҚМ және онымен байланысты беттік аналитикалық әдістерді қолдана отырып, тұндырылған каптамалардың морфологиялық, құрылымдық және құрамдық ерекшеліктерін сипаттау және каптамалардың қаттылық пен коррозияға төзімділік сияқты негізгі функционалдық қасиеттерін және олардың синтез параметрлері мен микроқұрылымымен қалай өзара байланысты екенін бағалау.

• Электрохимиялық синтез бағытының жабынның сапасы мен функционалдық көрсеткіштеріне қалай әсер ететіндігін түсіндіретін құрылым-қасиет қатынастарын орнату және Өнеркәсіптік қолданбаларға жарамды жоғары өнімді қорғаныс және функционалды жабындарды өндіру үшін оңтайландырылған электрохимиялық стратегияларды ұсыну.

Зерттеу әдістері

Композициялық электролиттік каптамалардың (КЭЖ) құрамы мен микрокұрылымы оптикалық металлография, спектрометриялық және рентгенқұрылымдық талдау, расторлық электрондық және атомдық-күштік микроскопия әдістерімен зерттелді. Коррозиялық қасиеттерді зерттеу үшін гравиметриялық және потенциодинамикалық әдістер, сондай-ақ электрлік кедергіні өлшеу әдісі қолданылды. Физика-механикалық қасиеттер микрот қаттылық пен адгезияны өлшеу әдістерімен және трибологиялық сынақтар көмегімен зерттелді. Электролиттік каптамалардың түзілу процесін математикалық модельдеу және олардың функционалдық қасиеттерін болжау электрохимияның электрометаллургиядағы заңдылықтары негізінде жүзеге асырылды.

Зерттеу нысаны

Температура мен ток тығыздығының әсерінен хром, никель және кобальт негізіндегі композиттік электролиттік жабындардың микроқұрылымы мен функционалдық қасиеттерін қалыптастыру процесі.

Зерттеу пәні

Хром-графен, никель-мыс және кобальт-ванадий металл және қорытпа негізіндегі композициялық электролиттік қаптамалар.

Ғылыми жаңалығы

Бірінші рет хром-графен негізіндегі композициялық каптамалардың, сондай-ақ Ni-Cu және Co-V қос қорытпаларынан жасалған КЭП-тің микроқұрылымдарын қалыптастыру процестері мен физико-химиялық қасиеттерін кешенді зерттеу жүргізілді.

Ni-Cu және Co-V қос қорытпаларында кристалдардың өлшемдерін реттеудің жаңа тәсілі әзірленді, ол ток тығыздығы мен қалыптастыру режимдерін (стационарлық, импульстік) өзгертуге негізделген. Зерттеу нәтижелері бойынша жаңа электролит әзірленіп, «кобальт-ванадий жабындарын жағу әдісі» (Қазақстан Республикасының 06.23.2026 ж. No 11879 патенті).

Никель мен мырыштың бірлескен тұндыру механизмі алғаш рет анықталып, электролит құрамдарының және тұндыру режимдерінің құрамдарға, құрылымға, қасиеттерге және жабындарды электро-тұндыру процесінің тиімділігіне әсері дәлелденді.

Электрохимиялық әдістер арқылы алынған деректер негізінде хром-графен композициялық жабындарының микроқұрылымының қалыптасу процесін сипаттайтын феноменологиялық модель ұсынылды.

Қорғауға ұсынылған негізгі тұжырымдамалары

1 Морфология, микроқаттылығы және дисперстік фаза құрамы синтезделген электролиттік хром-графен қаптамаларының температураға тәуелді болады, бұл 288-303 (±2) К температурада нано-кристалдық

құрылымның (25-26 нм) пайда болуымен, 318 (±2) К температурада нано-кристалдық құрылымның (19 нм) пайда болуымен және 303 (±2) К температурада сызат және микро-кеуек құрылымның қалыптасуымен көрсетіледі.

2 Екілік құрамадағы Ni-Cu қорытпасынан тұратын қаптамалардың кристалдарының өлшемдерін, түйірлерінің текстурасы мен кеуектілігін токтың тығыздын өзгерту арқылы басқаруға, сол арқылы материалдың нанокристалдық, аморфты-кристалдық құрылымын бағытты түрде қалыптастыруға және механикалық қасиеттері мен коррозияға төзімділігін эксплуатациялық талаптарға лайықты оптималды шамаға дейін жетілдіруге болады.

3 Co-V қос қорытпаларынан жасалған каптамалардың коррозиялық-электрохимиялық және механикалық сипаттамалары тұндыру режимдеріне (стационарлық, импульстік) байланысты болады, ал қатты балқитын компоненттің мөлшерінің ұлғаюы ток шығаруын және ванадийдің химиялық қалпына келтірілуін арттыру арқылы импульстік тұндыру кезеңінде пайда болады.

Зерттеудің ғылыми және практикалық маңыздылығы

Жұмыс ҚР Білім және ғылым министрлігі 2024-2026 жж. гранттық қаржыландыру жобасы ИРН № AP 23484310 «Қос және тернарлық қорытпалар мен гетерооксидтік қосылыстардан тұратын композициялық жабындар» бойынша орындалды, бұл «Энергия, алдыңғы қатарлы материалдар және көлік» басым бағыттарына сәйкес келеді. Диссертация Қазақстанның материалтану саласындағы әлеуетін дамытуға көмектеседі, электрохимиялық әдістерді зерттеу арқылы масштабтауға, үнемді және ұлттық салаларда интеграциялауға жарамды технологияларды дамытады.

Диссертация Қазақстан Республикасы ғылымының дамуының стратегиялық құжаттарында көрсетілген басым бағыттарды қамтиды. Бағдарлама материалтануды, жаңа материалдарды жасау мен озық технологияларды енгізуді негізгі басымдықтар ретінде белгілейді. Бұл зерттеу жоғары тиімді қорғаныш және функционалдық жабындарды жасауға, материалдарды модификациялаудың энергия тиімді және экологиялық қауіпсіз технологияларын дамытуға, сондай-ақ индустриалды инновациялар үшін ғылыми базаны нығайтуға тікелей үлес қосады.

Нәтижелердің сенімділігі мен негізділігі

Диссертациялық жұмыс нәтижелерінің негізділігі жоғары импакт-факторлары бар ұлттық және халықаралық рецензияланатын журналдардағы жарияланымдармен расталады.

Докторанттың үлесі

Ғылыми кеңесшілердің басшылығымен докторанттың жеке үлесіне зерттеу жұмысының мақсаттары мен міндеттерін қою, зерттеу жүргізу, әріптестермен ынтымақтастық жасау, нәтижелерді өңдеу және талдау, қорытындылар тұжырымдау және мақалалар жазу кіреді.

Диссертацияны апробациялау

Диссертациялық жұмыстың және одан алынған нәтижелердің бөлігі ретінде келесілер жарияланды, есеп берілді және талқыланды.

Scopus дерекқорындағы мақалалар

1 **Zellele D. M.,** Yar-Mukhamedova Gulmira Sh. and Rutkowska-Gorczyca M. A Review on Properties of Electrodeposited Nickel Composite Coatings: Ni-Al_2O_3, Ni-SiC, Ni- ZrO_2, Ni-TiO_2 and Ni-WC // MDPI Materials. -2024. -Vol. 17, No. 5715. https://doi.org/10.3390/ma17235715 (Q2, SJR = 0.614, Cite score = 6.4, IF = 3.5, Scopus percentile 79%)

2 Yar-Mukhamedova G. S., **Zellele D. M**., Rutkowska-Gorczyca M., Makhambet I., Mussabek G., Atchibayev R. & Kemelzhanova A. Advancements in Coating Methods and Properties of Titanium-Based Composite Coatings: A Review // ES Materials and Manufacturing. -2025. -Vol 28, No. 1569. https://dx.doi.org/10.30919/mm1569 (Q1, SJR = 0.62, IF = 5.3, Cite score = 12.7, Percentile = 98%)

3 **Zellele D. M**., Yar-Mukhamedova Gulmira Sh. and Rutkowska-Gorczyca M. Effect of Deposition Temperature on Morphology and Corrosion Resistance of Electrodeposited Chromium-Graphene Composite Coatings // ES Materials and Manufacturing. -2025. -Vol. 31, No. 1966. http://dx.doi.org/10.30919/mm1966 (Q1, SJR = 0.62, Cite score = 12.7, IF = 5.3, Percentile = 98%)

4 **Zellele D. M**., Yar-Mukhamedova Gulmira S. and Rutkowska-Gorczyca M. Effects and Applications of Additives in Nickel Electrodeposition: A Review // ES Materials and Manufacturing. -2026. -Vol. 31, No. 2080. http://dx.doi.org/10.30919/mm2080 (Q1, SJR = 0.62, IF = 5.3, Cite score = 12.7, Percentile = 98%)

Ұлттық ғылыми-техникалық бағалау орталығы ұсынған журналдардағы мақалалар (Қазақстандық дәйексөздер базасы)

5 **Zelele D. M.,** & Rutkowska-Gorczyca M. Electrochemical synthesis and functional properties of metal and alloy-based composition coatings // Recent Contributions to Physics. -2024. -Vol. 88(1). -P. 41-48. https://doi.org/10.26577/RCPh.2024v88i1a06

6 Greshta V., Narivskiy O., Dzhus A., Vynar V., Yar-Mukhamedova G., Mukashev K., Beisen N., Musabek G., Imanbaeva A., **Zelele D.,** Atchibaev R., & Kemelzhanova A. Corrosion behavior of magnesium alloys NZ30K and NZ30K alloyed with silver in a model solution of the osteosynthesis process // Eurasian Physical Technical Journal. -2024. -Vol. 29. No. 3(49). -P. 29-36. https://doi.org/10.31489/2024No3/29-36

7 Nenastina T., Sakhnenko M., Oksak S., Yar-Mukhamedova G., **Zellele D**., Mussabek G., Imanbayeva A. Study of Complexation Patterns in the System Ni^{2+}, MoO_4^{2-}, $P_2O_7^{4-}$, Cit^{3-} for the Development of Poly-Ligand Electrolytes (Study of complexation patterns) // Eurasian Chemico-Technological Journal. -2024. -Vol. 26(3). -P. 155-160. https://doi.org/10.18321/ectj1638

8 Snizhnoi G., Pulina T., Solidor N., Yar-Mukhamedova G., Imanbayeva A., **Zellele D.,** & Mussabek G. Patterns and Mechanisms of Pitting of Heat Exchangers Made of AISI 321 and 08Kh18N10T Steels During their Operation in Recycled Eater // Eurasian Chemico-Technological Journal. -2025. -Vol. 27(4) -P. 305-313. https://doi.org/10.18321/ectj1677

9 Yar-Mukhamedova G., Sakhnenko N., Korogodskaya A., Stepanova I., Karakurkchi A., **Zellele D**., Imanbayeva A. Synthesis and properties of polyfunctional coatings on aluminum and titanium alloys // Physical Sciences and Technology. -2025. -Vol. 12(3-4). -P. 41-49. https://doi.org/10.26577/phst20251224

Конференция материалдары, жарияланымдары мен постерлері

10 **Zellele D.**, Electrodeposited iron-based composition coatings // Proceedings of the International Scientific Conference of Students and Young Scientists “Farabi Alemi”. Almaty, Kazakhstan, 3-5 April 2025. P. 447, ISBN 978-601-04-7063-7

11 Makhambet I., **Zellele D**. Development of recommendations for corrosion-resistant nano-CEC applications // Proceedings of the International Scientific Conference of Students and Young Scientists “Farabi Alemi”. Almaty, Kazakhstan, 3-5 April 2025. P. 448, ISBN 978-601-04-7063-7

12 **Zellele D**., Sakhnenko M., Nenastina T., Yar-Mukhamedova G. Electrolytic nickel alloys: Status and prospects // Proceedings of the XXXIII International Scientific-Practical Conference MicroCAD-2025. Kharkiv, Ukraine, –2025. –P. 1882. ISSN 2786-9253

13 **Zellele D**., Zhamanbayeva G., Kemelzhanova A., Atchibayev R., Kurmangaliyeva V. Microstructure, tribological and corrosion resistance properties of Ni composite coatings prepared via electrodeposition // International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. –2025. –Vol. 6, No. 1. –P. 57–64. https://doi.org/10.5593/sgem2025/6.1/s23.08

14 **Zellele D M.,** Microstructural and corrosion resistance properties of electrodeposited chromium–graphene composite coatings under varying deposition temperatures // Materials of the XVI International Symposium on Combustion Plasma and Chemistry, Physics and Chemistry of Carbon and Nano Energetic Materials. Almaty, Kazakhstan, 1-3 October. -P. 181. ISBN 978-601-323-422-9

15 Yar-Mukhamedova G., Sakhnenko N., Karakurkchi A., Yermolenko I., Kemelzhanova A., **Zellele D.** Electrochemical and Mechanical Properties of Iron-Based Nanocomposites. In: Aikin, M., et al. Advanced and Novel Technologies - Interdisciplinary Collaboration in Materials Science. ANTICM Advances in Science, Technology & Innovation // Springer Cham. -2025. https://doi.org/10.1007/978-3-032-00373-7_29

Монография

16 Яр-Мухамедова Г. Ш., Ведь М. В., Сахненко Н. Д., Степанова И. И., Желавская Ю. А., Корогодская А. Н., Мукашев К., Мурадов А. Д., **Зеллеле Д**. Функциональные покрытия сплавами и нанокомпозитами для экотехнологий: синтез и свойства: монография. Алматы: Казахский национальный университет имени аль-Фараби, 2025. 110 с.

Патент

17 Patent 10580 Republic of Kazakhstan; Yar-Mukhamedova G., Sakhnenko N., Mukashev K., Imanbayeva A., **Zellele D.**, Nenastina T., Mussabek G., Pospelov A. Method for applying coatings with iron–cobalt–vanadium alloy, Filed 19.02.2025, Bulletin № 22.

18 Patent 11879 Republic of Kazakhstan; Yar-Mukhamedova G., Sakhnenko N., Imanbaeva A., Kemelzhanova A., Zellele D., Atchibayev R., Pospelov A., Zhelavskaya Y., Zyubanova S., Wang Y., Shen C. Method for depositing a cobalt-vanadium alloy coating, 06.03.2026, Bulletin № 9.

Диссертацияның көлемі мен құрылымы

Диссертациялық жұмыста шартты белгілер мен қысқартулар тізімі, кіріспе, үш тарау (негізгі бөлім 3 тақырыптан тұрады), қорытынды және пайдаланылған әдебиеттер тізімі бар. Жұмыс 113 бетте ұсынылған, онда 52 сурет, 16 кесте және 216 библиографиялық сілтеме бар.