

АННОТАЦИЯ

Жилкашинова Асель Михайловнының

8D05301 – Физика мамандығы бойынша философия докторы (PhD) ғылыми
дәрежесін алу үшін ұсынылған

«Cr-Al-Co-Y композициялық жабынының құрылымдық-фазалық күйін және
қасиеттерін зерттеу» тақырыбындағы диссертациялық жұмысына

Диссертациялық жұмыс магнетронды жағудың әзірленген тәсілі негізінде алынған Cr-Al-Co-Y композициялық жабынының құрылымдық-фазалық күйін және қасиеттерін зерттеуге арналған. Жұмыста термиялық өңдеудің құрылымдық-фазалық күйіне және Cr-Al-Co-Y композициялық жабындарының қасиеттеріне әсері анықталған.

Зерттеу тақырыбының өзектілігі. Конденсацияланған күй физикасы мен оның қолданбалы бағыттарының өзекті мәселелерінің бірі энергия қондырғыларының маңызды бөлшектері жабындарының материалдарының беріктігі мен пайдалану қасиеттерін арттыру технологиясын жасау болып табылатыны белгілі. Жабындардың құрылымы мен қасиеттеріне әсер етудің жаңа тәсілдерін жасау, бұрыннан бар әзірлемелерді жан-жақты пайдалану үлкен маңызға ие, олардың оңтайлы үйлесімі алынған жабындардың құрылымы мен қасиеттеріне бағытталған әсер етудің жаңа мүмкіндіктерін тудыруы мүмкін. Қорғаныс жабындарын қолдану бөлшектердің беріктігін олардың құнын едәуір көтермей арттыруға мүмкіндік береді.

Жабындардың күйлері мен қасиеттерін зерттеу әдістері ғылыми әдебиеттерде кеңінен қамтылған. Бірегей зерттеулерге арналған көптеген жарияланымдармен қатар, осы тақырыптағы жұмыстарға шолулар, авторлық монографиялар, оқулықтар мен анықтамалықтар бар.

Алайда, жоғарыда аталған зерттеулер негізінен жабу әдістеріне негізделді, бұл ретте құрылымдық-фазалық жай-күй және жабынның құрылымы мен қасиеттері арасындағы өзара байланыс бөлігіндегі зерттеулер, біздің ойымызша, толық көлемде зерттелмеген. Сонымен қатар, композициялық жабындарды зерттеу ғылыми тұрғыдан үлкен қызығушылық тудырады. Оларда басқа материалдарда жоқ әсерлер болуы мүмкін. Үлдірлердің микроқұрылымы бірдей құрамдағы көлемді материалдың құрылымынан айтарлықтай ерекшеленуі мүмкін, ал жұқа үлдірлердің (пленкалардың) қасиеттері көбінесе олардың морфологиясымен анықталады.

Жұқа үлдірлердегі қасиеттерге айтарлықтай әсер етпейтін массивті материалдардағы құрылымдық ақаулар олардың мінез-құлқына түбегейлі әсер етуі мүмкін. Бетінің кедір-бұдырлығы іс жүзінде массивті материалдардың сипаттамаларына әсер етпейді, ал үлдір (пленка) материалдары үшін бұл көптеген параметрлерді анықтайтын фактор болуы мүмкін. Сондықтан жұқа қабатты материалдарды зерттеу кезінде түбегейлі жаңа технологиялар мен құрылғыларды құруға негіз бола алатын жаңа құбылыстар мен заңдылықтардың ашылуы мүмкін.

Жұқа пленкалардағы қасиеттерге айтарлықтай әсер етпейтін массивті материалдардағы құрылымдық ақаулар олардың мінез-құлқына түбегейлі әсер

етуі мүмкін. Бетінің кедір-бұдырлығы іс жүзінде массивті материалдардың сипаттамаларына әсер етпейді, ал пленка материалдары үшін бұл көптеген параметрлерді анықтайтын фактор болуы мүмкін. Сондықтан жұқа қабатты материалдарды зерттеу кезінде түбегейлі жаңа технологиялар мен құрылғыларды құруға негіз бола алатын жаңа құбылыстар мен заңдылықтардың ашылуы мүмкін.

Бұл ретте талдау композициялық жабындардың құрылымдық-фазалық жай-күйі мен қасиеттерін зерттеудің өзектілігін көрсетті, өйткені қазіргі уақытта Өнеркәсіптік кешендегі материалдық құралдардың шектеулілігі жағдайында машина бөлшектері мен тораптарының беріктігін (ресурсын) арттыратын технологиялар ерекше мәнге ие болады.

Қолдану технологиясы мен композициялық жабындардың қасиеттері бойынша жарияланымдардың көбеюіне қарамастан, оларды қалыптастыру процесінің көптеген мәселелері қазіргі уақытта ашық күйінде қалып отыр.

Зерттеу тақырыбының өзектілігі материалтанушы мамандардың материалдардың бетін өзгерту әдістеріне деген қызығушылығының артуымен негізделген-белгілі бір құрылымы мен физика-механикалық және химиялық қасиеттері бар әртүрлі материалдардың жабындарын қолдану. Осындай жабындардың көмегімен қажетті қасиеттері бар өнімдерді ала отырып, бастапқы материалдың механикалық, магниттік, жылу және басқа қасиеттерін айтарлықтай өзгертуге болады (мысалы, коррозияға қарсы, тозуға төзімді және т.б.).

Белгілі болғандай, әртүрлі материалдардың пайдалану қасиеттерінің жоғары мәндеріне материалдардың құрылымдық сипаттамаларының кең ауқымының өзгеруіне байланысты қол жеткізіледі: фазалардың түрі, саны және мөлшері; кристалдық құрылым ақауларының тығыздығы, сипаты және таралуы және басқа да көптеген факторлар. Сондықтан кез-келген материалдың қасиеттері мен оның құрылымы арасындағы байланысты орнату қажеттілігі күмән тудырмайды. Сонымен қатар, өнімнің беткі қабаттарын модификациялау процестерінің кез-келген технологиялық параметрлерінің өзгеруі құрылымға және, тиісінше, пайдалану сипаттамаларына қалай әсер ететінін толық түсіну үшін зерттелетін материалдардың құрылымдық-фазалық жағдайы туралы толық мәліметтер алуға мүмкіндік беретін кешенді зерттеу әдісі қажет. Бұл болашақта классикалық тәуелділіктерді қолдана отырып, материалдардың маңызды механикалық сипаттамаларының деңгейін (беріктік, икемділік, жарыққа төзімділік және т.б.), сондай-ақ осы қасиеттерге максималды үлес қосатын құрылымдық факторларды бағалауға мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер, өз кезегінде, беткі инженерлік технологияларды жақсарту бойынша ұсыныстар береді.

Осылайша, диссертациялық жұмыстың тақырыбы негізделген және Cr-Al-Co-Y композициялық жабынының құрылымдық-фазалық күйін және қасиеттерін зерттеуге бағытталған.

Жұмыстың мақсаты-магнетронды қолданудың дамыған әдісі негізінде алынған Cr-Al-Co-Y композициялық жабынының құрылымдық-фазалық күйін және қасиеттерін зерттеу.

Жұмыста қойылған мақсатқа жету үшін келесі міндеттерді шешу қажет:

1) Cr-Al-Co-Y композициялық жабынын жағудың магнетронды тәсілін әзірлеу;

2) Cr-Al-Co-Y композициялық жабынының құрылымдық-фазалық күйлері мен қасиеттерін зерттеу;

3) термиялық өңдеудің құрылымдық-фазалық күйлеріне және Cr-Al-Co-Y композициялық жабынының қасиеттеріне әсерін анықтау.

Зерттеу пәні:

Әзірленген магнетронды қолдану әдісі негізінде алынған Cr-Al-Co-Y композициялық жабыны.

Зерттеу объектісі:

Cr-Al-Co-Y композициялық жабынының құрылымдық-фазалық күйлері мен қасиеттері.

Зерттеу әдістері:

Зерттеудің классикалық әдістері: оптикалық, электронды мөлдір және растрлық микроскопия, рентгендік құрылымдық талдау. Сонымен қатар механикалық сынақтар, бетті өңдеудің термиялық әдістері де қолданылды.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы – бұл бірінші рет:

- құрамдас элементтердің басқарылатын шоғырлануымен Cr-Al-Co-Y көп қабатты композициялық жабындарды қолданудың магнетронды әдісі әзірленді және зерттелді. Композициялық жабындарды қолданудың оңтайлы режимдері анықталды;

- Cr-Al-Co-Y композициялық жабынының құрылымдық-фазалық күйлерінің заңдылықтары анықталды;

-термиялық өңдеудің құрылымдық-фазалық күйлеріне және Cr-Al-Co-Y композициялық жабынының қасиеттеріне әсері анықталды.

Қорғауға шығарылатын негізгі ережелер:

1. Cr-Al-Co-Y композициялық жабынының магнетронды әдісі.

2. Cr-Al-Co-Y композициялық жабынының құрылымдық-фазалық күйін және қасиеттерін сипаттайтын нәтижелер.

3. Температураға байланысты Cr-Al-Co-Y композициялық жабынының құрылымдық-фазалық күйі мен қасиеттерінің өзгеру заңдылықтары.

Жұмыстың ғылыми және практикалық маңыздылығы:

Есептеу-эксперименттік зерттеулердің нәтижелері магнетронды бүрку әдісімен алынған композициялық жабындардың қалыптасу процестері туралы жаңа, терең түсінік береді. Тозуға төзімді жабынды жағудың әзірленген тәсілі ҚР өнертабыстарына патенттермен қорғалған. Диссертациялық жұмыстың практикалық маңыздылығы өндіріске енгізу актісімен расталады.

Алынған нәтижелерді зерттеу саласы жоғары берік металл бұйымдарын жасаумен, материалдарды беттік өңдеудің инновациялық технологияларын құрумен айналысатын металлургиялық кәсіпорындар болып табылады.

Автордың жеке үлесі:

Автордың жеке үлесі-зерттеу міндеттерін қою, әдеби деректерді талдау, композициялық жабындарды электронды микроскопиялық, металлографиялық және рентгендік құрылымдық зерттеулерге қатысу, статистикалық өңдеу.

Алынған нәтижелерді талдау және негізгі қорытындыларды тұжырымдау ғылыми консультанттармен бірлесіп жүргізілді.

Эксперименттік нәтижелерді автордың ФМА ЖББМ «Томск политехникалық ұлттық зерттеу университеті» (Томск қ., РФ), ФМА ЖББМ «Новосібір ұлттық зерттеу мемлекеттік университеті», «Жоғары технологиялар және наносистемалардың диагностикасы» аспаптары мен жабдықтарын ұжымдық пайдалану орталығы (Новосібір қ., РФ), С. Аманжолов атындағы ШҚУ ұжымдық пайдаланудың ұлттық ғылыми зертханасының қызметкерлерімен бірлесіп және ШҚТУ инженерлік бейіндегі Д. Серікбаев шарттар негізінде жасаған.

Тақырыптың ғылыми-зерттеу бағдарламаларымен байланысы:

Осы диссертацияның мазмұны бойынша негізгі жұмыс автордың ҚР БҒМ № 306/2020 (2020 жылғы 01 маусымдағы № 113 шарт) жобасының «Өнеркәсіптік жабдықтың жауапты тораптарының пайдалану қасиеттерін арттыру үшін композициялық жабындар жасау» (2020-2022 жылдар)» тақырыбына м/б жобасын әзірлеуге қатысуымен басталды.

Жұмыста алынған нәтижелердің негізділігі мен анықтығының дәрежесі қамтамасыз етіледі:

«Тікелей», жақсы сыналған эксперименттік зерттеу әдістерін қолдана отырып, ТМД және алыс шетелдердің белгілі ғалымдарының бұрын алған эксперименттік нәтижелерін зерттеу және салыстыру, нәтижелерді түсіндіру және дифракциялық суреттерді декодтау. Алынған нәтижелер конденсацияланған орта физикасының негізгі ережелеріне қайшы келмейді. Термиялық өңдеу нәтижесінде Cr-Al-Co-Y композициялық жабынында пайда болатын фазалық және құрылымдық өзгерістер метастабильді фазалық түрлендірулердің белгілі заңдылықтары тұрғысынан түсіндіріледі.

Зерттеу көздері конденсирленген күйдегі қазіргі заманғы физиканың, металдар мен қорытпалар физикасының негізгі эксперименттік және теориялық ережелері, пайдаланылған көздер тізімінде келтірілген соңғы жылдардағы бірегей ғылыми жұмыстардың эксперименттік нәтижелері болып табылады.

Жұмыс нәтижелерін апробациялау:

Диссертациялық жұмыстың негізгі ережелері мен нәтижелері халықаралық конференцияларда ұсынылды:

1. «Материалдардың тозуы жөніндегі 23-ші халықаралық конференция», Канада, 26-29 сәуір 2020 ж.;
2. «Озық өндірістік материалдар мен зерттеулер: АММ&R2021 жаңа технологиялары мен әдістері» халықаралық онлайн-конференциясы, Д. Серікбаева атындағы ШҚТУ, Өскемен қ., Қазақстан, 19 ақпан 2021ж.;
3. «Жаңа материалдар мен технологиялар: Ұнтақты МЕТАЛЛУРГИЯ, композициялық материалдар, қорғаныш жабындар, дәнекерлеу» 14-ші Халықаралық конференциясы, Минск қ., Белоруссия, 09-11 қыркүйек 2020ж.;
4. «Ұнтақты металлургия: беттік Инженерия. Жаңа ұнтақты композициялық материалдар. Дәнекерлеу» Минск қ., Белоруссия, 07-09 сәуір 2021ж.;
5. «XXXIX. Күзгі Трибология мектебі», Польша, 01-04 қыркүйек 2021ж.;

6. «Ядролық ғылымдар мен технологиялар» III Халықаралық ғылыми форумы, Алматы ауылы, Қазақстан, 20-24 қыркүйек 2021ж.;

7. С. Аманжолов атындағы ШҚУ дөңгелек үстелде «Термоядролық энергетика мен машина жасаудағы инновациялық технологиялар», Өскемен қ., Қазақстан, 19 сәуір 2021ж.;

8. «Қатты дене физикасының өзекті мәселелері» IX Халықаралық ғылыми конференциясы» (APSSP-2021) тақырып бойынша постермен: «Study Of Structural-Phase State And Mechanical Properties Of Heat-Protective Coating Cr-Al-Co-Y», Минск қ., Белоруссия, 22-26 қараша 2021ж.;

9. «IX халықаралық конференция Семей сынақ полигоны: ғылыми-техникалық әлеуеттің даму болашағы мен мұрасы», Курчатов қ., Қазақстан, 07-09 қыркүйек 2021ж.;

10. «Жаңа материалдар мен технологиялар: Ұнтақты металлургия, композициялық материалдар, қорғаныш жабындар, дәнекерлеу» 15-ші Халықаралық конференциясы», Минск қ., Белоруссия, 14-16 қыркүйек 2022ж.;

11. «Наноматериалдар және Энергияны сақтаудың озық жүйелері бойынша 10-шы халықаралық конференция», Нұр-Сұлтан қ., Қазақстан, 04-06 тамыз 2022 ж.;

12. «Увалиев оқулары-2022» халықаралық ғылыми-практикалық конференциясы, «Қазіргі сын-тегеуріндер жағдайындағы ғылым мен білімнің өзекті мәселелері», Өскемен қаласы, Қазақстан, 23 қыркүйек 2022ж.

Сонымен қатар, негізгі нәтижелер физика кафедрасының ғылыми семинарларында, біріккен ғылыми семинарларда, С. Аманжолов атындағы ШҚУ атындағы ғылыми-техникалық кеңесте баяндалып, талқыланды.

Жарияланымдар:

Диссертацияның негізгі нәтижелері 13 жарияланымда, оның ішінде Scopus және Web of Science деректер базасына кіретін 2 шетелдік ғылыми басылымда (1. «Coatings», процентиль – 51%, квартиль (Q) – Q2, IF – 2.436, CiteScore 2,4; 2. «Crystals», процентиль – 50%, квартиль (Q) – Q2, IF – 2.67, CiteScore 3,2); ҚР Білім және ғылым министрлігінің Білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету Комитеті ұсынған 4 басылымда (1. «ҚР ҰЯО Жаршысы», физика ғылымының сериясы; 2. «Reports of the national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan», физика-химиялық ғылымдар сериясы; 3. «Physical Sciences and Technology», физика ғылымының сериясы; 4. «Reports of the national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan», физика-химиялық ғылымдар сериясы); халықаралық конференциялардың 7 материалында және 3 патентте ҚР өнертабыстарына жарияланды (№35716, stat. 03.04.21, publ. 17.06.22, Bull. №24; 2. №35713, stat. 03.04.21, publ. 17.06.22, Bull. №244; 3. №35088, stat. 02.04.20, publ. 28.05.21, Bull. №21).

Жүргізілген зерттеулер мен алынған нәтижелерді талдауға сүйене отырып, Cr-Al-Co-Y композициялық жабыны үшін қарапайым, экономикалық тұрғыдан тиімді жабын әдісі ретінде магнетронды бүрку әдісі ұсынылады деп айтуға болады. Бұдан әрі жабынның пайдалану сипаттамаларын жақсарту мақсатында композициялық жабындарды магнетронды тозаңдату технологиясын жетілдірген жөн.

Композициялық жабынның құрылымдық-фазалық жай-күйі мен механикалық қасиеттеріне жүргізілген зерттеулер одан әрі алынған тәуелділіктерді қолдануға және дайын бұйымдардың, атап айтқанда ГТҚ қалақтарының пайдалану қасиеттеріне барынша үлес қосатын құрылымдық факторларды бағалауға, сондай-ақ беткі инженерия технологияларын жетілдіру бойынша ұсынымдар ұсынуға мүмкіндік береді.

Диссертацияда қойылған міндеттер толық көлемде шешілді, диссертациялық жұмыстың мақсатына қол жеткізілді. Жоспарланған, орындалуы қиын барлық эксперименттік жұмыстар және ғылыми кеңесшілермен және әріптестермен бірге алынған нәтижелерге салыстырмалы талдау жүргізілді. Алынған нәтижелер мен тұжырымдар конденсацияланған күй физикасы мен металдар мен қорытпалардың фазалық түрленуінің термодинамикасының негізгі ережелеріне қайшы келмейді.

Ұсынылған әдіс бойынша алынған композициялық жабындар әртүрлі салаларда бөлшектерді нығайту, олардың эрозияға төзімділігі мен тозуға төзімділігін арттыру үшін қолданыла алады. Қаптау ресурстарын болжаудың есептік-эксперименттік әдісі пышақтардың біркелкі емес тозуын анықтауға мүмкіндік берді. Бұл нәтижелер жабындардың қалыңдығы бойынша градиент қолдану бойынша ұсыныстар ұсынуға мүмкіндік береді.

Орындалған жұмыстың жоғары деңгейі нәтижелердің с.Аманжолов атындағы ШҚУ ұжымдық қолданыстағы ұлттық ғылыми зертханасының, Д.Серікбаев атындағы ШҚТУ инженерлік бейінінің мамандандырылған зертханаларында эксперименттік зерттеулердің жақсы сыналған «классикалық» әдістерін қолдану арқылы алынуымен қамтамасыз етіледі. Диссертация тақырыбы бойынша әдеби шолу әлемнің жетекші елдері ғалымдарының заманауи жұмыстарын қамтиды.

Алынған нәтижелер белгілі мәліметтермен салыстырғанда талданады. Олар Thomson Reuters және Scopus деректер базасына кіретін танымал бейінді шетелдік журналдарда жарияланды, ТМД және алыс шетелдерде өткен бірқатар халықаралық конференцияларда талқыланды, өнертабыстарға патенттермен қорғалған.

Теориялық және эксперименттік зерттеулердің нәтижелерін талдау келесі негізгі қорытынды жасауға мүмкіндік береді:

1. Cr-Al-Co-Y композициялық жабындарын қолданудың магнетронды әдісі жасалды, бұл металл жабындарға тән айқын бағаналы құрылымсыз тығыз жабындарды қалыптастыруға мүмкіндік береді. Композициялық жабындарды қолданудың оңтайлы режимдері анықталды. Cr, Al, Co, Y құраушы элементтерінің басқарылатын шоғырлануымен көп қабатты (1-ші, 2-ші, 4-ші және 8-ші қабатты) жабындар алынды.

2. Көп қабатты Cr-Al-Co-Y жабындарының құрылымдық-фазалық жағдайы зерттелді. Зерттеулер жабындарда жабын мен субстрат арасында, сондай-ақ қабаттардың өздері арасында дамыған интерфазалық шекара пайда болатындығын көрсетті, бұл барлық үлгілерде айқын көрінеді. Бастапқы күйдегі көп қабатты жабындар негізінен рентгеноморфты екендігі анықталды. Сонымен қатар, 2 қабатты жабын үшін поликристалды фазалардың болуы байқалады.

(CoO, $\text{AlSi}_{0.5}\text{O}_{2.5}$ және SiO_2).

Жабындыдағы хром концентрациясы қабаттардың көбеюімен, кобальт мөлшерінің пропорционалды төмендеуімен өсетіні атап өтілді. 4 қабатты жабынның бетінің кедір-бұдырлығы мен микроқаттылығының Ra максималды мәні бар екендігі анықталды, бұл оны осы жұмыста зерттелгендердің ішіндегі ең жарыққа төзімді жүйеге айналдырады. Барлық үлгілердің эрозиялық (абразивтік) төзімділік деңгейі орташа $9,8598 \times 10^{-15} \text{ кг/(с*м}^2\text{)}$ құрайды, бұл ретте 4 және 8-қышқылды жабындар, 1-ші және 2-қабатты жабындарға қарағанда, төзімділіктің 7-9%-ға артқанын көрсетеді.

3. Термиялық өңдеудің құрылымдық және фазалық күйлеріне әсер ету ерекшеліктері және Cr-Al-Co-Y композициялық жабынының қасиеттері зерттелді. Термиялық өңдеу кезінде пайда болатын негізгі процесс шпинат түрінің фазасын қалыптастыру болып табылады (SiO_2 , CoO, $\text{AlSi}_{0.5}\text{O}_{2.5}$, $\text{CrAl}_{0.42}\text{Si}_{1.58}$, Co_3O_4 , Y_2O_3 , CoCr_2O_4).

Олардың барлық көп қабатты жабындар үшін түпкілікті қалыптасуы 800-1000°C температура диапазонында жүреді. Термиялық әсерге ұшыраған үлгілердің құрылымы бағаналы, қабаттардың болуы барлық МЭМ және РЭМ режимдерінде айқын көрінеді. Күйдіру температурасының жоғарылауымен кобальт мөлшері азаятыны байқалды. Температураның жоғарылауымен жабындардың микро қаттылығы мен кедір-бұдырлығы жоғарылайды. Бастапқы күйдегі сол үлгілермен салыстырғанда 400 °C температурада термоөңдеуден кейін эрозиялық (абразивтік) төзімділіктің ($9,0122 \times 10^{-15} \text{ кг/(с*м}^2\text{)}$) шамалы ұлғаюы анықталды. Зерттеу нәтижесінде тазартылған үлгілердің эрозиялық (абразивті) тұрақтылығының мәні орташа есеппен 16%-ға төмендегені анықталды.

4. Жабындар ресурсын және жабындар құрылысының схемасын болжаудың есептік-эксперименттік әдісінің нәтижелері бойынша ГТҚ қалақтарының жұмыс салыстырып тексерілуі біркелкі емес тозғаны анықталды. Бұл ретте есептеулер Cr-Al-Co-Y негізіндегі жабындылары бар ГТҚ қалақтарының жұмыс бетінің ресурсы жабынсыз материалға қарағанда шамамен екі есе жоғары екенін көрсетті.