

ӘЛІМЖАНОВА ӘЛИЯ МАРҒҰЛАНОВНАНЫҢ

6D071000 – «Материалтану және жаңа материалдар технологиясы»

мамандығы бойынша философия докторы (PhD)

дәрежесін алу үшін ұсынылған

"ЖОҒАРЫ ДЕҢГЕЙДЕГІ МЕХАНИКАЛЫҚ ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ БАР ТИТАН НЕГІЗІНДЕГІ ПЕРСПЕКТИВАЛЫҚ ҚОРЫТПАЛАРДЫ ӘЗІРЛЕУ»

тақырыбындағы диссертациялық жұмысының

АҢДАТПАСЫ

Ғылыми немесе ғылыми-технологиялық проблеманың қазіргі жағдайын бағалау. Қазіргі уақытта титан қорытпаларын кеңінен қолданбай қазіргі заманғы машина жасауды дамыту мен одан әрі жетілдіруді елестету қиын. Жақын болашақта авиация өнеркәсібінде титан қорытпаларын тұтыну көлемінің екі есе өсуі ғана емес, сонымен қатар кеме жасау, медицина, атом және химия өнеркәсібі, автомобиль жасау, халық тұтынатын тауарлар өндірісі және т.б. салаларда титанның жартылай фабрикаттарына сұраныстың артуы болжанады.

Титан қорытпаларының басқа материалдардан артықшылығы - олардың жоғары температураға төзімділігі мен меншікті беріктігі, жоғары коррозияға төзімділігі. Сонымен қатар, титан мен оның қорытпалары жақсы дәнекерленетіндігімен ерекшеленеді және парамагниттік қасиетке ие.

Қазіргі уақытта бірнеше жүздеген тәжірибелік композициялар және әртүрлі мақсатта қолданылатын титанның жүзден астам өнеркәсіптік қорытпалары жасалды. Механикалық қасиеттер мен қорытпалардың химиялық құрамы арасындағы сандық байланысты орнатуға бірнеше рет талпыныстар жасалған олардың құрылымы мен қасиеттерін зерттеуге көптеген зерттеулер арналды. Алайда, қорытпалардың қасиеттеріне олардың фазалық құрамына және құрылымдық күйінің, сондай-ақ легірлеуші элементтер мен қоспалардың мөлшерінің біркелкі болмауы әсер ететіндігіне байланысты бір мәнді нәтиже берген жоқ.

Өнеркәсіптік титан қорытпаларының ішінде газбен жұмыс істейтін турбиналар, жылу электр станциялары және авиациялық газ турбиналы қозғалтқыштар үшін жүздер жасау үшін қолданылатын микроқұрылымы реттелетін жоғары температураға төзімді титан-алюминий аралық металл қосылыстары ерекше маңызға ие.

Титанның өнеркәсіптік қорытпаларының ішінде ыстыққа төзімді титан-газ жағатын турбиналардың, жылу электр станцияларының және авиациялық газ турбиналық қозғалтқыштардың қалақтарын жасау үшін қолданылатын басқарылатын микроқұрылымы бар алюминий интерметаллидтері ерекше маңызды. Тығыздығы 4 - 4,5 г/см³ болатын Ti-Al негізіндегі жеңіл қорытпаларды пайдалану болашақта энергия өндіретін турбиналардың тиімділігін 35 % дейін арттыруға және қазіргі заманғы тығыздығы 8 - 8,5

г/см³ арнайы никель қорытпалары негізінде жасалған аналогтармен салыстырғанда авиациялық қозғалтқыштардың «көтеру күші/салмақ» қатынасын 20 %-ға дейін арттыруға мүмкіндік береді. γ -TiAl қорытпалары ерекше маңызды, оларды пайдалану турбиналардың массасын және жалпы ұшақтың массасын азайтуға мүмкіндік берді, сонымен қатар қолданылатын керосиннің және атмосфераға шығарылатын CO₂ мөлшерлерінің 15,0% -ға төмендеуіне ықпал етті.

TiAl - интерметаллидтері авиациялық турбиналарда қолдану саласының ілгері дамуы никель турбиналарының қалақтарын газ-турбиналық қозғалтқыштардың ыстық аймақтарында жеңіл легірленген материалдармен тиімді алмастыруға негізделген. Бұл үшін жаңа материалдардың ыстыққа төзімділігін және ыстыққа беріктігін 600 ° C-дан жоғары температураға дейін арттыруды талап етеді. Осы бағытта қарқынды зерттеулер АҚШ-та, Еуропалық Одақ елдерінде және Қытайда жүргізілуде. Жетекші өндірістік алыптардың арасында интерметаллидтерге деген қызығушылықтың артуының басты себебі жаңа заман газтурбиналық қозғалтқыштардың жұмысына тән температурада өндірістік және технологиялық қасиеттерді оңтайлы үйлесімімен байланысты.

Тақырыпты әзірлеу үшін бастапқы негіз және бастапқы мнліметтер. Қазақстан жоғары сапалы кеуекті титанды жеткілікті мөлшерде өндіреді, ол перспективалық титан қорытпалары үшін бастапқы шикізат болуы мүмкін. "ӨТМК" АҚ (Өскемен титан-магний комбинаты) ішкі нарыққа шығуы және отандық титан өнімін газ-энергетикалық қондырғылар өндірісінде және Қазақстанның мұнай-газ секторында пайдалану жоғары сапалы деңгейдегі титан қорытпаларын шығару бойынша өндірісті құруды көздейді.

Ғылыми-зерттеу жұмысы үшін орындау қажеттілігін негіздеу.

Қазіргі уақытта 600-700 ° C температура диапазонында машиналар мен механизмдердің ұзақ жұмыс істеуін қамтамасыз ете алатын ыстыққа төзімді титан қорытпаларын алу міндеті Ресейде де, ТМД елдерінде де, шетелде де дамуда.

Жаңа титан қорытпалары және олардан жасалған бұйымдар технологиялық және пайдалану қасиеттерінің қажетті кешеніне (әдетте, біріктіру қиын), атап айтқанда, жоғары беріктікке, икемділікке, ыстыққа төзімділікке және ыстыққа беріктікке ие болуы керек. Легірлеу, термиялық және термомеханикалық өңдеу нәтижесінде көптеген өнеркәсіптік қорытпалардың, соның ішінде титан негізіндегі қорытпалар үшін қасиеттердің қажетті кешенін алуға болатындығы белгілі. Алайда, бұл мәселені шешудің қиындығы темір мен никель негізіндегі өнеркәсіптік қорытпалардан айырмашылығы, титан қорытпалары легірлеуші элементтердің концентрациясына, жылу және термомеханикалық өңдеу режимдеріне жоғары құрылымдық сезімталдықпен сипатталады.

Титан негізіндегі қорытпалардың құрылымдық-фазалық құрамы мен қасиеттерінің көп факторлы тәуелділігіне байланысты титан қорытпалары компоненттерінің сұйық - қатты күй және кейіннен салқындату саласындағы

оларды алу сатысында физика-химиялық өзара әрекеттесу ерекшеліктерін кешенді зерттеу қажет. Бұл мәселені титан негізінде көп компонентті жүйелердің фазалық диаграммаларын құру және олардың құрамы мен температурасына байланысты фазалық өзгерістердің заңдылықтарын зерттеу арқылы шешуге болады. Фазалық диаграммаларды білу сонымен қатар титанның тиісті қорытпалары мен олардан жасалған бұйымдарды алдын-ала және түпкілікті өңдеудің оңтайлы ғылыми негізделген режимдерін, соның ішінде олардың берілген құрылымдық-фазалық күйі мен қасиеттерін қалыптастыру үшін жылу және деформациялық әсердің әртүрлі түрлерін орнатуға мүмкіндік береді.

Жоспарланған ғылыми-техникалық деңгей туралы ақпарат, патенттік зерттеулер және олардан жасалған қорытындылар. Механикалық және технологиялық қасиеттерінің жоғары деңгейі бар титан негізіндегі қорытпаларды әзірлеу саласындағы әдеби көздердің 109 атауын қамтитын ғылыми-техникалық және патенттік басылымдарға талдау жүргізілді.

Жоспарланған ғылыми-техникалық даму деңгейі мыналарды қамтиды, қазіргі титан қорытпалары қасиеттерінің қажетті деңгейін қамтамасыз ететін құрылымдық-фазалық жағдайға негізінен термиялық, Термо-механикалық және термо-деформациялық өңдеудің белгілі бір режимдерімен бірге баяу балқитын металдармен кешенді қоспалау арқылы қол жеткізіледі. Титан қорытпаларының кемшіліктері олардың ұзақ уақыт жұмыс істеу кезіндегі жылу тұрақсыздығы және ыстыққа төзімділігі төмен (қорытпалар 500 °C-тан жоғары қызған кезде тотығады), сонымен қатар олар өте төмен өнімділікпен сипатталады. Осы уақытқа дейін жаңа буынның өнеркәсіптік титан қорытпаларын жасау мәселесі толығымен шешілген жоқ. Сондықтан перспективалы титан қорытпаларын жасау және механикалық және пайдалану сипаттамаларының жоғары деңгейін қамтамасыз ететін озық технологияларды әзірлеу олардың технологиялық циклінің барлық сатыларында сыртқы әсердің құрамын, әдістері мен құралдарын таңдаудың жаңа тәсілін талап етеді.

Диссертацияның метрологиялық қамтамасыз етілуі туралы мәліметтер. Ғылыми-зерттеу жұмыстарын жүргізу кезінде мынадай метрологиялық қамтамасыз ету пайдаланылды:

НИТУ МИСиС (Ресей, Мәскеу, "Құю өндірісі технологиясы" кафедрасы) - мыс салқындатылатын табаны бар Arg200 вакуумдық доғалы пеш, EDX Oxford X-Max80 приставкасы бар tescan Vega 3 LM электронды микроскопын сканерлейді, Zwick Z250 әмбебап сынақ машинасы, DIGI-TESTOR 930 HB 250 кгс әмбебап қаттауышы;

"ҚР Минералдық шикізатты кешенді қайта өңдеу жөніндегі ұлттық орталық" РМК (Қазақстан, Алматы) - вакуумдық-индукциялық пеш (ИПП-18kw), муфельді пеш(Type 1300, ModelFB1315M), кептіру шкафы (Model 615);

Ә.Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік инженерия институты "Станок жасау, материалтану және машина жасау өндірісінің технологиясы"

кафедрасы-энергия - дисперсиялық приставкасы бар электрондық растрлық микроскоп. Jeol, JSM 6490 LA, ДРОН-4 дифрактометрі, x рентгендік дифрактометрі, Pert MPD PRO, METAM LV-31 (Lomo) металлографиялық микроскопы.

Барлық пайдаланылатын жабдықтар мен аспаптар сертификатталған және тиісті бақылау ұйымдары құжаттық растамаға ие. Метрологиялық зерттеулер нормативтік құжаттарға сәйкес тексерілген бақылау-өлшеу аппараттарында жүргізілді.

Тақырыптың өзектілігі. Жабдықтардың салмағының төмендеуін, машина бөлшектері мен механизмдерінің қышқылға төзімділігі мен коррозияға төзімділігінің жоғарылауын және ыстыққа төзімділігінің жоғарылауын қамтамасыз ететін титаннан және оның қорытпаларынан жасалған бұйымдардың жоғары өнімділік сипаттамалары оларды Қазақстан Республикасының аэроғарыш өнеркәсібінде, мұнай-газ және химия өнеркәсібінде пайдалануға мүмкіндіктер ашады. Жақын арада, қазіргі заманғы технологиялар мен жабдықтардың неғұрлым қатаң жұмыс істеуі жағдайында, әлемдік нарықта жоғары сапалы титан қорытпаларына деген сұраныс тек өседі және олардың сапасына қойылатын талаптар арта береді. Сондықтан отандық шикізаттан жаңа заманның жоғары сапалы титан қорытпаларын құру мен өңдеудің ғылыми негіздерін дамыту өзекті мәселеге айналады.

Перспективалық титан қорытпаларын жасау үшін жұмыс температурасының диапазонын кеңейту, жоғары температура беріктігін қамтамасыз ету және агрессивті ортада коррозияға төзімділікті арттыру үшін көп компонентті қорытпаларды легірлеудің жаңа принциптерін, оларды термиялық және деформациялық өңдеу режимдерін ғылыми негізделген зерттеу жұмыстарын жүргізу қажет. Осы бағыттағы ғылыми-зерттеу жұмыстарын тұжырымдау мен ұйымдастырудағы басымдық - легірлеуші элементтердің оңтайлы кешенін таңдауға байланысты еңбек шығындарын азайту, қорытпалар мен олардан жасалған бұйымдарды термиялық, термиялық механикалық және термиялық деформациялаудың оңтайлы технологияларын жасау.

Қорытпалардың пайдалану сипаттамаларын және көп компонентті жүйеге көшуді қамтамасыз ету үшін химиялық құрамды күрделендіру қажеттілігі қорытпаларды жасау міндетін стандартты әдістер мен тәсілдерді қолдану арқылы орындауды қиындатады. Оны шешу компьютерлік модельдеудің заманауи әдістерін, есептеу әдістерін және бағдарламалық жасақтаманы, мысалы, Thermo-Calc қолданған кезде ғана мүмкін болады. Ол сұйық-қатты күй саласындағы көп компонентті жүйелердегі физика-химиялық өзара әрекеттесу заңдылықтарын зерттеуге және қорытпаларды кейіннен салқындатуға негізделген.

Тақырыптың жаңалығы.

- алғаш рет Thermo-Calc бағдарламалық өнімінің көмегімен жүйелердің көп компонентті титан қорытпаларындағы фазалық түрленулер зерттелді,

Ti-Al-Nb-Mo және температура - концентрация аймақтарының шекараларының есептік және эксперименттік мәндері арасындағы толық сәйкестік анықталған модельдік жүйе;

- сәйкес көпкомпонентті күй диаграммаларындағы ликвидус пен солидус беттерінің проекциялары мен политермиялық және изотермиялық қималары есептелді және жасалды;

- стандартты өнеркәсіптік қорытпалармен салыстырғанда (44-52%) негізгі легірлеуші алюминий элементінің мөлшері аз (40-43%) құрамда γ -фазаның тұрақты күйіндегі шоғырлану аймақтары болатындығында анықталды;

- фазалық түрлендірулердің белгіленген заңдылықтары негізінде Ti-43Al-4Nb-1Mo титан қорытпасының оңтайлы құрамын таңдау ғылыми негізделген, сонымен қатар балқыту, құю және термиялық өңдеудің оңтайлы режимдері ұсынылған;

- Nb-Al және Mo-Al жүйелерінің физикалық сипаттамаларының (балқу температурасы, тығыздығы, жылу сыйымдылығы, жылу өткізгіштігі, электр өткізгіштігі) концентрациялық тәуелділігі салынды және легірлеуші элементтің тиімді сіңірілуіне және олардың балқыманың көлемінде біркелкі таралуына кепілдік беретін легірлеуші қорытпалардың тиімді құрамы айқындалды;

- Ti-Al-Nb-Mo жүйесінің титанның көп компонентті қорытпалары алынды, олардың құрамы Thermo-Calc бағдарламалық өнімінің көмегімен есептелді және олардың құрылымы, фазалық құрамы, бөлме температурасы мен жоғары кезіндегі механикалық және технологиялық қасиеттері анықталды;

- титан негізінде әзірленген қорытпаларды термиялық және термия механикалық өңдеудің тиімді режимі ұсынылады, ол жұмыс температурасында механикалық және технологиялық қасиеттері жоғары кеуекті емес материал алуды қамтамасыз етеді.

Осы жұмыстың басқа ғылыми-зерттеу жұмыстарымен байланысты. Диссертациялық жұмыстың нәтижелері бойынша 10 баспа жұмысы, оның ішінде ҚР БҒМ Білім және ғылым саласындағы бақылау комитеті ұсынған басылымдарда 3 жұмыс, Web of Science Core Collection (Metal Science and Heat Treatment с импакт-фактор 0,215) базасына кіретін журналда 2 ғылыми мақала жарияланды. Жұмыстың негізгі ережелері мен нәтижелері халықаралық конференцияларда ауызша және стендтік баяндамалар түрінде баяндалды: "тау-кен металлургия кешенінің инновациялық дамуын ғылыми және кадрлық сүйемелдеу" халықаралық ғылыми-практикалық конференциясы. 27-28 сәуір, 2017, Алматы, Қазақстан; XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONGRESS MACHINES. TECHNOLOGIES. MATERIALS: Year I, Issue 4(4), Vol. IV, TECHNOLOGIES. VARNA, BULGARIA. 13-16.09. 2017, "ехноюнити – микроэлектроникаға арналған электронды-сәулелік технологиялар" 2-ші Халықаралық форумы. 9-21 қазан. 2017. Мәскеу.

Патент алынды.

Жұмыс 2015-2017 жылдарға арналған 4521/ГФ4 "беріктігі мен технологиялылығы жоғары перспективалық титан қорытпаларын әзірлеу" тақырыбы бойынша ҚР БҒМ ғылыми зерттеулерін гранттық қаржыландыру шеңберінде орындалды.

Зерттеудің мақсаты - компьютерлік модельдеудің есептік әдістерін және көпкомпонентті жүйелердің құрылымдық-фазалық жай-күйін сандық талдауды пайдалана отырып, қазақстандық шикізаттан механикалық және технологиялық қасиеттерінің жоғары деңгейі бар титан негізінде перспективалы қорытпаларды әзірлеу.

Зерттеу нысаны – алюминиймен және баяу балқитын металдармен – ниобий, молибден, ванадиймен қоспаланған көп компонентті титан қорытпалары; Nb-Al және Mo-Al жүйелерінің легірлеуші элементтері болып табылады.

Зерттеу пәні – Ti-Al-Nb-Mo күй диаграммаларында фазалық құрамдастардың болуының температуралық - концентрациялық аймақтарының термодинамикалық есептері; көп компонентті титан қорытпаларының құрылымын, оңтайлы химиялық және фазалық құрамдарын анықтау; оларды алу тәсілдері, механикалық және технологиялық қасиеттердің жоғары деңгейін қамтамасыз ететін қорытпаларды термиялық және деформациялық өңдеу режимдері.

Зерттеудің міндеттері, олардың жалпы ғылыми-зерттеу жұмыстарын орындаудағы орны:

1) Thermo-Calc бағдарламалық өнімі арқылы есептеңіз және Ti-Al-V-Zr өнеркәсіптік титан қорытпасының политермиялық және изотермиялық кесінділерін құру және оның есептелген және нақты фазалық құрамы арасындағы корреляцияның болуын көрсету.

2) Thermo-Calc бағдарламалық өнімі арқылы есептеп, Ti-Al-Nb-Mo жүйесінің көп компонентті титан қорытпасының политермиялық және изотермиялық кесінділерін құру және γ -қорытпаның тұрақты күйін алу үшін легірлеуші элементтердің оңтайлы құрамын орнату.

3) Балқыту температурасы, тығыздығы, электр өткізгіштігінің жылу өткізгіштігі бойынша легірлеуші қорытпаларға қойылатын негізгі талаптарды қанағаттандыратын, қоспалаушы элементтердің барынша сіңірілуін қамтамасыз ететін Nb-Al және Mo-Al легірлеуші қорытпаның құрамын анықтау.

4) Thermo-Calc бағдарламасы бойынша есептелген құрамға сәйкес Ti-Al-Nb-Mo жүйесінің тәжірибелік көпкомпонентті титан қорытпаларын дайындау, құю, күйдіру және ГИП-өндеуден кейін олардың құрылымын, фазалық құрамын және қасиеттерін анықтау.

5) Жаңа титан қорытпасының қажетті құрылымдық-фазалық күйін және пайдалану-технологиялық қасиеттерінің кешенін алуды қамтамасыз ететін құю, термиялық және термия механикалық өңдеу режимдерін әзірлеу.

Ғылыми зерттеулердің әдіснамалық базасы: Зерттеу барысында келесі заманауи құрылғылар қолданылды:

1) тәжірибелік қорытпалардың микроқұрылымын тіркеуге арналған AXIO Zeiss–A. 1 оптикалық микроскопы;

2) дисперсті жүйелердің жұқа құрылымын зерттеу үшін JEOLJXA-8230 (Жапония) электронды растрлық сканерлеу микроскопы;

3) фазалық құрамын анықтау үшін ДРОН-4 рентгендік дифрактометр.

Келесі стандартты зертханалық жабдықтар қолданылды

1) графит жылытқышы бар және вакуумды 5×10^{-5} мм сынап бағанасын ұстайтын ВЭ-3-16 вакуумдық кедергі пеші;

2) Arc200 зертханалық вакуумдық доғалық пеш (АҚШ);

3) SNOL – 1,6.2,3.0,8/9 – М1 шамамен 10 К температуралы муфельдік электр пеші;

4) BUEHLER Phoenix тегістеу және жылтырату машиналары;

5) Zwick Z250 әмбебап электромеханикалық сынақ машинасы;

6) DIGI-TESTOR 930 HB 250 кгс әмбебап қаттылықты өлшеу нәтижелері бойынша, титан негізіндегі көп компонентті жүйелердегі физика-химиялық өзара әрекеттесулер туралы деректер базасына негізделген "Thermo-Calc" компьютерлік модельдеудің бағдарламалық өнімі.

Қорғауға шығарылатын негізгі тұжырымдар:

1) BT20Л (Ti-Al-V-Zr жүйесі) маркалы стандартты өнеркәсіптік титан қорытпасының политермиялық және изотермиялық қималарындағы фазалық құрамы және есептеу мен эксперименттік деректер арасындағы корреляция.

2) құрамында 40 және 43 % алюминий бар Ti-Al-Nb-Mo жүйесінің жаңа әзірленген көп компонентті титан қорытпасындағы γ -фазаның тұрақты өмір сүруінің фазалық құрамы мен температуралық-концентрациялық аймақтары.

3) физикалық-химиялық қасиеттері - балқу температурасы, тығыздығы, жылу өткізгіштігі және электр өткізгіштігі бойынша легірлеуші элементке қойылатын негізгі талаптарды қанағаттандыратын Nb-Al және Mo-Al легірлеуші қорытпалардың құрамы.

4) жаңа әзірленген титан қорытпаларының құрылымдық-фазалық күйі мен пайдалану-технологиялық қасиеттері және негізгі қоспалаушы элемент - алюминийдің оңтайлы концентрациясын таңдау.

5) құрылымның, пайдалану және технологиялық қасиеттердің қажетті деңгейімен жоғары сапалы көп компонентті титан қорытпасын алуды қамтамасыз ететін термиялық және термия механикалық (термо-деформациялық) өңдеу режимі.

Жұмыстың практикалық маңыздылығы - жұмыста құрылған жаңа жүйелердің фазалық диаграммаларының негізінде алғаш рет беріктігі жоғары және технологиялығы бар жаңа титан қорытпалары алынды. Олардың тиімді құрамы, балқыту, құю және өңдеу режимдері жасалды. Қорытпалардың фасонды құймалары және олардан деформацияланған жартылай фабрикаттар алынды.

Жұмыста құрылған фазалық диаграммалар негізінде титан қорытпаларының фазалық күйін және құрылымын бақылау мүмкіндігі жаңа

сапалы қорытпалар жасаудың ғылыми негіздерін жасауға ықпал етеді, ғылыми және практикалық маңызы зор. Титан қорытпаларын өндірудің, құюдың және термиялық өңдеудің жаңа, ғылыми негізделген технологияларын әзірлеуге негіз болады.

Жарияланымдар. Диссертациялық жұмыстың негізгі нәтижелері 10 ғылыми жұмыста, соның ішінде 2 Scopus базасында индекстелген басылымда; 3 мақала ҚР БҒМ Білім және ғылым саласындағы бақылау комитеті ұсынған басылымдарда; 4 мақала халықаралық конференция материалдарында жарияланған және 1 патент алынды.

Жұмыстың апробациясы. Диссертациялық жұмыстың нәтижелері бойынша 10 баспа жұмысы, оның ішінде ҚР БҒМ Білім және ғылым саласындағы бақылау комитеті ұсынған басылымдарда 3 жұмыс, Web of Science Core Collection (Metal Science and Heat Treatment с импакт-фактор 0,215) базасына кіретін журналда 2 ғылыми мақала жарияланды. Жұмыстың негізгі ережелері мен нәтижелері халықаралық конференцияларда ауызша және стендтік баяндамалар түрінде баяндалды: "Тау-кен металлургия кешенінің инновациялық дамуын ғылыми және кадрлық сүйемелдеу" халықаралық ғылыми-практикалық конференциясы. 27-28 сәуір, 2017, Алматы, Қазақстан; XIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONGRESS MACHINES. TECHNOLOGIES. MATERIALS: Year I, Issue 4(4), Vol. IV, TECHNOLOGIES. VARNA, BULGARIA. 13-16.09. 2017, "Микроэлектроникаға арналған электронды-сәулелік технологиялар" 2-ші Халықаралық форумы. 9-21 қазан. 2017. Мәскеу.

Патент алынды.

Жұмыс 2015-2017 жылдарға арналған 4521/ГФ4 "Беріктігі мен технологиялылығы жоғары перспективалық титан қорытпаларын әзірлеу" тақырыбы бойынша ҚР БҒМ ғылыми зерттеулерін гранттық қаржыландыру шеңберінде орындалды.

Жұмыстың көлемі мен құрылымы. Диссертациялық жұмыс кіріспеден, 4 бөлімнен, қорытындыдан, пайдаланылған әдебиеттер тізімінен, қосымшадан тұрады. Жұмыстың негізгі мәтіні машинкамен басылған мәтіннің 115 бетінде жазылған, 52 суреттен, 30 кестеден тұрады, Пайдаланылған әдебиеттер тізімі 113 атаудан тұрады.