

ИБРАЕВА ГУЛЬЗИРА МУРАТБЕКОВНАНЫҢ
6D071000 – «Материалтану және жаңа материалдар технологиясы»
мамандығы бойынша философия докторы PhD
дәрежесін алу үшін ұсынылған
«КОБАЛЬТ, НИКЕЛЬ ЖӘНЕ ТИТАН АЛЮМИНИДТЕРІНІҢ
ИНТЕРМЕТАЛИДТІ ҚОСЫЛЫСТАРЫНЫҢ КӨПҚАБАТТЫ
ҚҰРЫЛЫМЫ»
тақырыбындағы диссертациялық жұмысының

АҢДАТПАСЫ

Шешілетін ғылыми проблеманың қазіргі жағдайын бағалау. Қазіргі уақытта материалтану жөніндегі өзекті міндеттер, ерекше қасиеттері бар материалдарды әзірлеу болып табылады. Осыған байланысты бұл міндеттерді шешу үшін интерметаллидтерге қызығушылық артуда. Олар өте төзімді құрылымдық материалдар құрамына кіретін Al, Cu немесе Fe негізіндегі дисперсті қатты қорытпалардың жоғары беріктігін қамтамасыз етеді. Сондай-ақ, олар әдеттегідей қорытпалардың жоғары температураларында екінші фаза түрінде беріктендіру үшін тиімді пайдаланылады. Тұрақтылықтығы мен беріктігінің арқасында жоғары температура үшін конструкциялық материалдар бірте-бірте перспективті болып санала бастады. Өткен ғасырдың елуінші жылдары әлеуетті интерметаллидтердің құрылымдарын нақтылау мақсатында көптеген зерттеулер басталды. Олардың әр түрлі қасиеттері анықталған, соның ішінде практикалық қолдануға кедергі келтіретін болып осал сынғыштығы еңсерілмейтін проблема болып саналған. Дегенмен, бұл мәселені әр түрлі тәсілдермен шешуге болады, олардың ішінде негізгісі микроқұрылымды түрлендіру. Механикалық қасиеттерін жақсарту үшін басқа да міндеттер қолданылады, соның ішінде беріктендіру және сызаттануын азайту.

Алюминидті интерметаллидтерді жасау және түрлендіру ісінде құрылымдық және микроқұрылымдық зерттеулер ерекше орын алады. Түрлендіру бағыттарын анықтауда және оны қолдану барысында бөлшектердің сипаттамаларын танып білуде элементтердің орналасуы мен құрамы туралы мәліметтер, фазалар арасындағы шекаралардың қасиеті, микроқұрылымдық ерекшеліктері жайлы зерттеулер құнды үлес қосады. Фазалар арасындағы тұрақтылық пен үйлесімділікті, олардың өзара әрекеттесуін салыстыратын міндеттер қоюға көпфазалы кеңістіктің қолжетімділігі мүмкіндік береді. Диффузиялық жұптасу әдісімен әсіресе оның көлденең қимасында көпфазалы кеңістіктің микроқұрылымын зерттеу тиімді.

Дегенімен фазалық өзгеру реттілігі диаграмма барысындағы жағдаймен толық сәйкес келгендіктен, интерметаллидті фазаларды әртүрлі әдістермен зерттеуге мүмкіншілік туындайды. Қолданыста қызығушылыққа ие болған алюминидтердің интерметаллидті қосылыстары арзан емес, сондықтан аддитивті технологияларда қолдану үшін бірінші кезектегі кандидаттар

болып табылады. Осыған байланысты аддитивті технологиямен алынған фазаның түзілу суретімен диффузиялық жұптасу әдісімен алынған микроқұрылымдағы сәйкестіктер мәселені өзекті қылып тұр.

Тақырыпты әзірлеу үшін бастапқы негіз бен бастапқы деректер. Зерттеу үшін бірқатар интерметаллидті қосылыстар түзетін Al-Co, Al-Ni, Al-Ti бинарлы жүйелердің көп қабатты құрылымдары бар диффузиялық аймақ және реакция аймағы таңдалды. Осы жүйелердің негізінде бірыңғай реттік интерметаллидті қосылыстарының қорытпалары олардың физикалық және механикалық қасиеттерінің әмбебап жиынтығы конструкциялық материалдардың маңызды топтамасы болып табылады. Олар жоғары ыстыққа төзімділігімен, тығыздығының төмендігімен, жоғары серпімділік модулімен және 550...850°C температуралар аралығында тотығуға қарсы жақсы кедергісімен сипатталады, сондықтан аэроғарыштық техника және энергетикалық машина жасауда қолдану үшін перспективті ыстыққа төзімді материал болып табылады. Бинарлы жүйелердің диаграмма күйі мен тиісті қорытпалардың фазалық құрамы, олардың құрылымы тәжірибелік қызығушылықтың арқасында осындай қорытпалар зерттелді. Әйткенімен әдебиеттерде мәліметтер бойынша көрсетілген жүйелердің микроқұрылымы жайында мағлұматтар аз.

Ғылыми-зерттеу жұмысы үшін орындау қажеттілігін негіздеу. Диффузиялық аймақтың және реакция аймағының балку нүктесінен жоғары температурада жүйенің бір компоненті, сондай-ақ жоғарғы температураларда ерігіштіктің үзілуі және аралық фазалардың түзілу заңдылықтары интерметаллидті қосылыстар қалыптасатын бинарлы жүйелерде жеткіліксіз зерттелген. Интерметаллидті қосылыстардың құрылымдық деректер базасын камтамасыз ететін зерттеулер шектеусіз еритін жүйелердің диффузиялық аймақтың және реакция аймағының айырмашылығы, осындай жүйедегі ерекшеліктер бірқатар қасиеттердің қалыптасуын анықтауға мүмкіндік береді.

Осындай жүйелердегі интерметаллидтердің әрі қарай дамыуы диффузиялық жұптасу әдістерімен және аддитивті технологиялармен қалыптасқан құрылымдарды салыстырмалы зерттеуді талап етеді. Мұндай салыстырмалы зерттеулердің тиімділігі олардың микроқұрылымдық ұқсастық жағдайында өседі.

Зерттеудің өзектілігі. Ретті және бірыңғай жүйеден тұратын интерметаллидті қосылыстардың түзілуін тәжірибе жүзінде зерттеу қажеттілігінде негізделген. Бұл аддитивті технологияда интерметаллидтердің қолдануының артуымен байланысты. Жұмыстың ғылыми нәтижелері, таңдап алынған жүйелердегі алюминидті интерметаллидті қосылыстарының құрылымын және қасиеттерін басқаруға мүмкіндік береді.

Диссертациялық жұмыстың мақсаты Al-Co, Al-Ni және Al-Ti бинарлық жүйелердегі диффузиялық аймақтың және реакция аймағының құрылымның қалыптасу ерекшеліктерін зерттеу және құрылымдық зерттеулер көмегімен алюминидтердің интерметаллидті қосылыстарын анықтау болып табылады.

Зерттеудің міндеттері:

1. Зерттелген жүйелерде диффузиялық жұптасу әдісінің қолдануда тиімділігін тексеру;

2. Диффузиялық аймақ және реакция аймақтарында фазалық қосылыстардың түзілуіне әсер ететін температура мен уақыттың әсерін бағалау;

3. Диффузиялық аймақ және реакция аймақтарында микроқұрылымының ерекшеліктеріне салыстырмалы зерттеулер жүргізу;

4. Аддитивті технология және диффузиялық жұптасу әдісімен түзілген микроқұрылымдардың ұқсастықтарын анықтау және салыстыру.

Зерттеу нысаны – жоғары температураны ұстап тұру жағдайында Al-Co, Al-Ni и Al-Ti жүйелерінің элементтері арасында қалыптасатын диффузиялық аймақ және реакция аймағы.

Зерттеу тақырыбы – Al-Co, Al-Ni және Al-Ti жүйелерінің көп қабатты диффузиялық аймағы және реакция аймағының құрылымы.

Зерттеудің әдістемелік қоры. Диссертациялық жұмысты орындау барысында негізгі зерттеулер мен талдауларға жатады:

— Thermo-Calc (базаTTA17) бағдарламалық кешенін қолдана отырып таңдалған жүйелердің термодинамикалық есептеулері;

— растрлы электронды-микроскопиялық және рентгеноспектральді микроталдау (РЭМ-РСМТ) JEOL фирмасының JXA-8230 аспабының көмегімен жүргізілген көп қабатты диффузиялық аймағы және реакция аймағының микроқұрылымдық зерттеулері;

— интерметаллидті қосылыстардың микроқаттылығын диффузиялық аймақ және реакция аймақтарының қабаттарында ПМТ–3М және DuraScan G5 аспаптарында анықтау;

— интерметаллидті қосылыстардың диффузиялық аймақ және реакция аймақтарының қабаттарындағы фазалық құрамын рентген дифрактометрінде Bruker D8 Advance сапалық және сандық талдаумен анықтау.

Жоғарыда аталған бақылау-өлшеу аспаптары мемлекеттік метрологиялық тексерістің талаптарына сай келеді (аккредиттеу Аттестаты № KZ- И. 02.1138 ақпанның 23- нен 2016 ж.).

Жұмыстың ғылыми жаңалығы

– диффузиялық жұптасу әдісімен алынған көпқабатты диффузиялық аймақ пен реакция аймағының құрылымына кешенді зерттеулер жүргізілді;

– бірінші рет CoAl және NiAl фазаларының арасындағы жоғарғы температураны ұстап тұру кезіндегі метатұрақты жағдайда жаңа стехиометриялық байланыстар анықталған;

– тепе-теңдік күйдегі диаграммалармен салыстырғанда Al-Co, Al-Ni және Al-Ti жүйелерінде алюминидтердің интерметаллидті қосылыстарының қалыптасуы 163-446 °C температуралық өзгеріске енгені анықталған;

– алғаш рет 1150°C-та диффузиялық жұптасу әдісімен алынған Al-Ti жүйесінің глобульді бөліктері аддитивті технология әдісімен алынған (1000°C) интерметаллидтердің құрылымымен сәйкестігі табылды;

– алюминидтердің интерметаллидті қосылыстардың құрамын көлденең пішінде желілік толқындыдисперсті микроталдау әдістемесі әзірленді.

Жұмыстың практикалық құндылығы диффузиялық жұптасу әдісімен және аддитивті технология әдісімен алынған құрылымдардың сандық және сапалық ұқсастығында. Сондықтан, диффузиялық жұптасу жағдайында интерметаллидті қабаттарының құрылымы бойынша деректер аддитивті технология үшін көпфазалық зерттеулер бағытында ескерілуі тиіс. "Металлургия және кен байыту институтының" АҚ ғылыми-әдістемелік жұмыстарының физикалық әдістерімен талдау зертханасында тәжірибелік құндылығы тиісті актімен расталды. Стандартталған алюминидтердің интерметаллидті қосылыстарын ВДС пішінді талдауды қолдану арқылы JXA-8230 аспабында жұмыс уақыты 10-15 есе үнемделді.

Қорғауға шығарылатын негізгі ғылыми тұжырымдар

1. Al-Co, Al-Ni және Al-Ti жүйелерінің диффузиялық аймағы және реакция аймағында орналасқан алюминидтердің интерметаллидті қосылыстарын 700-ден 1375 °C температураның аралығында рентгеноспектральді микроталдау әдістерімен анықталған фазалық құрамы.

2. Диффузиялық жұптасу әдісімен алынған Al-Co, Al-Ni және Al-Ti жүйелеріндегі алюминидтердің интерметаллидті қосылыстарының қолданыстағы диаграммалар күйімен салыстырғандағы 163-446 °C температуралық ығысуы.

3. Энергодисперсті және толқындыдисперсті микроталдау әдістемелерімен анықталған Al-Co және Al-Ni жүйесіндегі бертоллидті білдіретін $Co_{79}Al_{21}$, $Co_{56}Al_{44}$, $Co_{80}Al_{20}$, $Ni_{49}Al_{51}$ және тағы басқа жаңа стехиометриялық құрамдары.

4. Диффузия аймағы мен реакция аймағының құрылымдық фазалық күйіндегі қабаттардың кеңдігі, фазалардың тізбектеп орналасуы, сондай-ақ қабаттардың құрылымы туралы мәліметтерді басқару элементтері.

Негізгі ғылыми-тәжірибелік нәтижелер:

1. Thermo-Calc (TTAl7базасы) көмегімен 0-100% Co, 0-100% Ni, 0-100% Ti концентрация аймағындағы Al-Co, Al-Ni, Al-Ti жүйелерінің диаграмма үзінділері есептеліп тұрғызылды. Қарастырылған жүйелердің кристалдануы мен салқындатуынан кейінгі үрдісінде қатты күйде қатты ерітіндіден бөлек алюминий негізінде белгілі фазалар пайда болды:

Al-Co жүйесінде Co_2Al_9 , Co_4Al_{13} , $CoAl_3$, Co_2Al_5 , $CoAl$;

Al-Ni жүйесінде $NiAl_3$, Ni_2Al_3 , Ni_3Al_4 , $NiAl$ (β), Ni_5Al_3 , Ni_3Al (γ');

Al-Ti жүйесінде Ti_3Al , $TiAl$, Ti_5Al_3 , $TiAl_2$, Ti_5Al_{11} и Ti_9Al_{23} .

2. Бірқатар алюминидтердің, оның ішінде шамамен 10 мкм жұқа қабаттардың микроқаттылық көрсеткіштері анықталды. Алынған микроқаттылық көрсеткіштері әдеби көздермен дерлік сәйкес келді.

Al-Ti жүйесінде 3998-8334 Мпа аралығында;

Al-Ni жүйесінде 5600-6200 МПа аралығында;

Al-Co жүйесінде 3708-4659 МПа аралығында болды.

3. Өңдеу шарттарын зерттеу нәтижесінде диффузиялық аймақ және реакция аймақтарының орташа кеңдігі:

Al-Co жүйесі үшін $365,5 \pm 50$ мкм;

Al-Ni жүйесі үшін 370 ± 10 мкм;

Al-Ti жүйесі үшін $38,05$ мкм құрады.

4. Бірінші рет Al-Co және Al-Ni жүйелерінде CoAl және NiAl фазасының компоненттері арасында келесі түрге жауап беретін қосылыстың жаңа стехиометриялық құрамы табылған:

CoAl фазасының аралығында: $Co_{79}Al_{21}$ (78,02-78,72% Co), $Co_{56}Al_{44}$ (55,50-55,69% Co); $Co_{80}Al_{20}$ (79,39-79,55% Co) және $Co_{73}Al_{27}$ (72,70-73,29% Co).

NiAl фазасының аралығында: $Ni_{49}Al_{51}$ (48,67-49,07% Ni), $Ni_{64}Al_{36}$ (63,80-64,06% Ni), $Ni_{70}Al_{30}$ (69,50-69,62% Ni) және $Ni_{68}Al_{32}$ (67,50-67,86% Ni).

5. Алюминидті интерметаллидтік қосылыстардың тиісті диаграмма күйімен салыстырғанда температуралық ығысу $163-446$ °C-қа жоғарырақ пайда болғаны анықталған. Атап айтқанда,

- Al-Co жүйесі үшін $CoAl_3$ интерметаллидті қосылыстың 165 градусқа температуралық ығысуы анықталған, ал Co_4Al_{13} ығысуы 207 градусты құрады.

- Al-Ni жүйесі үшін интерметаллидті қосылыс NiAl₃ температуралық ығысуы 446 градусты құрады, ал Ni_2Al_3 бұл ығысу 163 градус болды.

- Al-Ti жүйесінде 1300 °C кезінде Ti_9Al_{23} интерметаллидті қосылыстар үшін температуралық ығысуы анықталған, яғни фазалық диаграмма күйі бойынша бұл фаза 780 °C-тан бастап жоғалып кетуі тиіс.

6. Көпқабаттылық, басқадағы бір компоненттің қатты ерітінділі аймағы, кеуектілік, жарықтар, бөлімдердің шекаралары болатын бинарлы жүйелердегі диффузиялық аймақ пен реакция аймақтарына ортақ микроқұрылымның ерекшеліктері орнатылған.

Диссертациялық жұмыстың ғылыми зерттеу бағдарламаларымен байланысы. Жұмыс жоспарға сәйкес Қазақстан Республикасының білім және ғылым министрлігінің бағдарламасы бойынша металлургия және кен байыту Институтының жоспарымен фундаменталдық зерттеулері бойынша "Ұнтақты металлургия әдісімен алюминидтер негізінде беріктігі жоғары және ыстыққа төзімді интерметаллидті суперқорытпаның өндіріп шығару технологиясының негізін жасау" жобасында орындалған. Шарт 203/1. 2015-2017 жж. ғылыми зерттеулердің гранттық қаржыландыруы.

Диссертация, басылымдар саны мен түрлері бойынша Қазақстан Республикасы білім және ғылым министрлігі саласындағы бақылау комитетінің талаптарына сәйкес келеді.

Диссертанттың жеке үлесі. Диссертанттың негізгі рөлі: зерттеу міндеттерін қою, тәжірибелік жұмыстарды жүзеге асыру: сынамаларды дайындау, бақылау мен өлшеу, деректерді өңдеу және алынған нәтижелерді қорытындылау.

Тәжірибелік нәтижелерді апробациялау. Диссертациялық жұмыстың негізгі тұжырымдары металлургия және кен байыту Институтының семинарларында баяндалып, талқыланды.

Негізгі тұжырымдар мен нәтижелер «Кенді байыту және түсті металдардың металлургиясындағы қорларды үнемдейтін технологиялар» атты Халықаралық ғылыми конференцияда (Алматы қ., 2015 ж.), «Техника және машина жасау технологиясы» атты V Халықаралық студенттік ғылыми-практикалық конференцияда (Омск қ., 2016 ж.), «Еуропалық ғылыми-практикалық конференция» атты IX Халықаралық ғылыми-практикалық конференцияда (Пенза қ., 2018 ж.) және "Техникалық және жаратылыстану ғылымдарының даму моделі мен инновациялары» атты Халықаралық ғылыми конференциясында (Берлин қ. 2018 ж.) баяндалды.

Жарияланымдар. Диссертациялық жұмыстың негізгі нәтижелері 9 ғылыми жұмыста, соның ішінде 1 Scopus базасында индекстелген басылымда; 4 мақала ҚР БҒМ Білім және ғылым саласындағы бақылау комитеті ұсынған басылымдарда; 4 мақала халықаралық конференция материалдарында жарияланған.

Жұмыстың көлемі мен құрылымы. Диссертациялық жұмыс мазмұннан, белгілер тізімі мен қысқартулардан, кіріспеден, алты бөлімнен, қорытындыдан, 110 атаудан тұратын пайдаланылған әдебиеттер тізімінен құралған. Жұмыс мәтіні машинамен басылған 82 беттен, сонымен қоса 28 сурет және 9 кесте мен 9 қосымшадан тұрады.