

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРҒЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ө.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты

«Материалтану, нанотехнология және инженерлік физика» кафедрасы

Мейрамбаева Әйгерім Балғынбекқызы

«Титанның негізіндегі корытпаларда жүретін фазалық және құрылымдық
өзгерістерді олардың құрамы мен температурасына байланысты зерттеу»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

6B07109 – «Инженерлік физика және материалтану»
білім беру бағдарламасы

Алматы 2023

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРҒЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ө.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты

«Материалтану, нанотехнология және инженерлік физика» кафедрасы



ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

«МНЖИФ» кафедрасы
меңгерушісі PhD,

Кудайбергенов К.К.

«29» мамыр 2023ж.

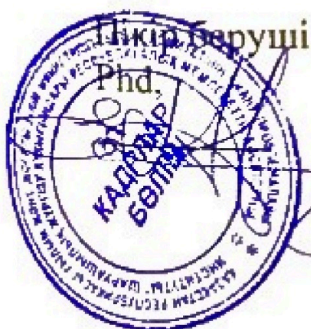
ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «Титанның негізіндегі қорытпаларда жүретін фазалық және
құрылымдық өзгерістерді олардың құрамы мен температурасына
байланысты зерттеу»

6B07109 – «Инженерлік физика және материалтану»

Орындаған:

Мейрамбекова Ә.Б.



Досжанов Е.О.

Ғылыми жетекші
т. ғ.д., академик

Д.У. Смагулов

«29» мамыр 2023 ж.

Алматы 2023

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРҒЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ө.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты

«Материалтану, нанотехнология және инженерлік физика» кафедрасы

БЕКІТЕМІН

«МНЖИФ» кафедрасы меңгерушісі PhD,

Кудайбергенов К.К.

«29» мамыр 2023 ж.

Дипломдық жұмыс орындауға

ТАПСЫРМА

Білім алушы: Мейрамбекова Әйгерім Балғынбекқызы

Тақырыбы: «Титанның негізіндегі қорытпаларда жүретін фазалық және құрылымдық өзгерістерді олардың құрамы мен температурасына байланысты зерттеу»

Университет ректорының «23» қараша 2022 жылғы №408-П/Ө
бұйрығымен бекітілген

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «30» мамыр 2023 ж

Дипломдық жұмыста қарастырылған мәселелер:

а) *Ti* - негізіндегі қорытпалардың фазалық диаграммаларын есептеу және тұрғызу;

б) *Ti-Al-Mo-V-Zr* жүйесінің фазалық диаграммасының политермиялық және изотермиялық қимасына талдау;

с) *Ti-Al-Mo-Nb* жүйесінің фазалық диаграммасының политермиялық және изотермиялық қимасына талдау.

Ұсынылған негізгі әдебиет 43 атаудан тұрады:

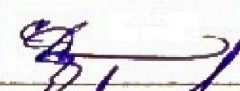
1 А. Gao Electrochemical surface engineering of titanium-based alloys for biomedical application - 2018. С. 699–718.-V. 271. - // Electrochim. Acta. - 2015. -С. 416

2 А.Г.Илларионов, А.А.Попов технологические и эксплуатационные свойства титановых сплавов//Екатеринбург Издательство Уральского университета. - 2014. - 138 с.

**Дипломдық жұмысты дайындау
КЕСТЕСІ**

Бөлім атаулары, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге, кеңесшілерге көрсету мерзімдері	Ескерту
Әдеби шолу	21.02.2023-23.03.2023	Қазіргі титан қорыталары және оның болашағын зерттеу
Тәжірбиелік жұмыстар	15.03.2023-10.04.2023	Ғылыми – зерттеу нәтижелерін талдау
Дипломдық жұмысты алдын-ала қорғау	05.05.2023	Қорытынды талдау

Дипломдық жұмыс (жоба) бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған жұмысқа (жобаға) қойған
қолтаңбалары (жұмысқа қарасты тараулардың нұсқаумен)

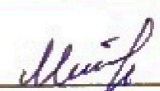
Бөлімдер атауы	Ғылыми жетекші, кеңесшілер (аты-жөні, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қолтаңба қойылған мерзімі	Қолы
Әдеби шолу	Смағұлов Д.У т.ғ.д., профессор	26.05.2023г	
Тәжірибелік жұмыстар	Смағұлов Д.У т.ғ.д., профессор	26.05.2023г	
Норма бақылау	Бейсебаева А.С., ф-м.ғ.к., аға оқытушы	24.05.2023г	

Ғылыми жетекшісі



Смағұлов Д.Ұ.

Тапсырманы орындауға алған студент



Мейрамбекова Ә.Б.

Күні

« 30 » маусым 2023 ж

АНДАТПА

Дипломдық жұмыста титан негізіндегі Ti-Al-Mo-Nb және Ti-Al-Mo-V-Zr системаларының фазалық диаграммалары және политермиялық және изотермиялық қыймалары тұрғызылды. Al-Nb және Al-Zr лигатураларын қолдана отырып, бір фазалық γ -қорытпасын дайындау әдісі әзірленді. Титан қорытпасының температураға байланысты фазалық құрамының өзгеріс, құрылысы мен қасиеттері зерттелді.

Дипломдық жұмыста эксперименттік әдістерді қолдану арқылы, сондай-ақ заманауи Thermo-Calc бағдарламасының көмегімен титан негізіндегі көп компонентті системалардың күй диаграммаларының политермиялық және изотермиялық қималары, ликвидус және солидус беттерінің проекциялары. Сонымен бірге титан қорытпаларының тепе-тең емес күйде кристалдану процестері есептелді.

Thermo-Calc бағдарламалсын қолдану көп компонентті жүйелердің әрекетін термодинамикалық болжау нәтижесінде эксперименттік жұмысты оңтайландыру арқылы уақыт пен материалдық шығындарды едәуір азайтуға мүмкіндік береді.

АННОТАЦИЯ

В дипломной работе построены фазовые диаграммы и политермические и изотермические сечения систем Ti-Al-Mo-Nb и Ti-Al-Mo-V-Zr на основе титана. Был разработан метод приготовления однофазных γ -сплавов с использованием лигатур Al-Nb и Al-Zr. Исследовано изменение фазового состава, структуры и свойств титанового сплава в зависимости от температуры.

Политермические и изотермические разрезы диаграмм состояния многокомпонентных систем на основе титана, проекции поверхностей ликвидуса и солидуса с использованием экспериментальных методов и современной программы Thermo-Calc. При этом были рассчитаны процессы кристаллизации титановых сплавов в неравновесном состоянии.

Использование программы Thermo-Calc позволяет значительно сократить временные и материальные затраты за счет оптимизации экспериментальной работы в результате термодинамического прогнозирования поведения многокомпонентных систем.

ANNOTATION

In the thesis, phase diagrams and polythermal and isothermal sections of Ti-Al-Mo-Nb and Ti-Al-Mo-V-Zr systems based on titanium were constructed. A method was developed for the preparation of single-phase γ -alloys using Al-Nb and Al-Zr ligatures. Changes in the temperature-dependent phase composition, structure and properties of the titanium alloy were studied.

Polythermal and isothermal sections of phase diagrams of titanium-based multicomponent systems, projections of liquidus and solidus surfaces using experimental methods and modern Thermo-Calc software. In this case, the processes of crystallization of titanium alloys in a nonequilibrium state were calculated.

The use of the Thermo-Calc program can significantly reduce time and material costs by optimizing experimental work as a result of thermodynamic prediction of the behavior of multicomponent systems.

МАЗМҰНЫ

КІРІСПЕ

1.	Қазіргі титан қорыталары және оның болашағы	11
1.2	Өнеркәсіптікегі титан негізіндегі қорытпалар.....	12
1.3	Легирлеуші элементтің титан қорытпасының қасиетіне әсері	15
1.4	Қорытынды	16
2	Зерттеудің әдістері мен объектілері	17
2.1	Бастапқы материал.....	17
2.2	Al-Zr және Al-Mo лигатураларын дайындау әдістемесі	18
2.3	Титан қорытпаларынан жасалған үлгілерді термиялық өңдеу әдісі ..	18
2.4	Қорытпалардың фазалық құрамы мен құрылымын зерттеу әдістері .	20
2.5	Титан қорытпаларынан жасалған үлгілердің механикалық қасиеттерін анықтау әдісі.....	21
2.6	Көп компонентті системалардың фазалық диаграммаларын компьютерлік есептеу әдісі	22
2.7	Қорытынды.....	23
3	Ғылыми – зерттеу нәтижелерін талдау	24
3.1	Ti–Al–Mo–V–Zr жүйесінің фазалық құрамы мен құрылысына талдау	24
3.2	Ti–Al–Mo–V–Zr жүйелерінің фазалық диаграммасының политермиялық қимасына сандық талдау.....	25
3.3	Ti–Al–Mo–V–Zr жүйелерінің фазалық диаграммасының изотермиялық қимасына сандық талдау.....	27
3.4	Ti–Al–Nb–Mo жүйесінің фазалық диаграммасының политермиялық қимасы	28
3.5	Ti–Al–Nb–Mo жүйесінің фазалық диаграммасының изотермиялық қимасы	29
3.6	Ti–Al–Nb–Mo жүйесінің фазалық құрамы мен құрылысына талдау	31
3.7	Қорытынды.....	32

ҚОРЫТЫНДЫ

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРҒЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ө.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты

«Материалтану, нанотехнология және инженерлік физика» кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

«МНЖИФ» кафедрасы

меңгерушісі PhD,

Кудайбергенов К.К

«_____» _____ 2023ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «Титанның негізіндегі қорытпаларда жүретін фазалық және
құрылымдық өзгерістерді олардың құрамы мен температурасына
байланысты зерттеу»

6B07109 – «Инженерлік физика және материалтану»

Орындаған:

Мейрамбекова Ә.Б.

Пікір беруші

Phd,

_____ Досжанов Е.О

Ғылыми жетекші

т. ғ.д., академик

_____ Д.У.Смагулов

“_____” _____ 2023 ж.

Алматы 2023

КІРІСПЕ

Титан қорытпалары қазіргі уақытта әртүрлі салаларда қолданылатын негізгі құрылымдық материалдардың бірі болып табылады. Олардың кеңінен қолданылуы титанға және оның қорытпаларына тән қасиеттер жиынтығымен байланысты: жоғары меншікті беріктік, көптеген агрессивті орталарда коррозияға төзімділік, магнетизм және 500–600°C-қа дейінгі жұмыс температурасында жақсы ыстыққа төзімділік [1].

Бірегей физикалық және химиялық қасиеттері бар титан және оның қорытпалары (абсолютіберік, барлық өнеркәсіптік металдардан асып түседі; салмағы алюминийден бір жарым есе төмен, бірақ қаттылығы 12 есе жоғары; икемді; теңіз суында және кейбір агрессивті суларда ерекше жоғары коррозияға төзімділікке ие; жоғары ыстыққа төзімді) авиациялық, зымырандық, машина және кеме жасау, атом энергетикасы және басқа да стратегиялық салалардағы негізгі материал , көп жағдайда балама емес құрылымдық материалдар болып табылады [2,3].

Титан қорытпаларын тиімдірек пайдалану жартылай фабрикаттар мен одан жасалған бұйымдарды өндірудің өзіндік құнын төмендету арқылы мүмкін болады. Өнімнің өзіндік құнына жартылай фабрикаттарды өндірудегі технологиялық операциялар, мысалы, пішінді құю, пластикалық деформация, дәнекерлеу, механикалық және термиялық өңдеу айтарлықтай үлес қосады. Бұл операциялардың әрқайсысы нұсқаулықтың бірінші бөлімінің қарастырылатын нысаны болып табылатын құю, деформация, дәнекерлеу, өңдеу, шынықтыру сияқты технологиялық қасиеттердің белгілі бір жиынтығымен сипатталады [4].

Ең көп таралған сыни жұмыс параметрлері жоғары және төмен температуралық жұмыс және циклдік жүктеме болып табылады. Осыған байланысты титан қорытпаларының ең маңызды эксплуатациялық қасиеттерін криогендік температурадағы жұмыс жағдайында суыққа төзімділікті, жоғары температурада жұмыс кезінде ыстыққа төзімділікті және ауыспалы жүктеме кезінде шаршауға төзімділікті қарастыруға болады [6].

Қазақстан аэроғарыш саласында сұранысқа ие өнім өндіру бойынша әлемде 3-ші орында. VSMPO-AVISMA корпорациясының бәсекелесі Өскемен титан-магний комбинаты («ТМК Басқарушы компаниясы» АҚ) – TG-100 маркалы титан губкасын ірі әлемдік өндірушілердің бірі, 2010 жылдан бастап – IMI сияқты жетекші әлемдік компаниялармен сертификатталған. Pratt & Whitney, Deutsche Titan, Cezus, титан құймалары мен қорытпалары (IMI сапа сертификаттары; Deutsche Titan, IMI) [5].

Жұмыстың мақсаты: Компьютерлік есептеу және талдау әдістерінің көмегімен титанның негізіндегі қорытпалардың политермиялық және изотермиялық құймаларын тұрғызу.

Жұмыстың жаңалығы: Компьютерлік есептеудің заманауи әдістерінің көмегімен титан негізіндегі қорытпалардың фазалық құрамы мен құрылымының түзілу және политермиялық және изотермиялық құймалары құрылады.

Жұмыстың өзектілігі: Алдағы кезеңде әлемдік нарықта жоғары сапалы титан қорытпаларына қажеттілік тек арта түседі, ал олардың сапасына қойылатын талаптар үздіксіз өсетіні анық. Сондықтан отандық шикізаттан жаңа буынның жоғары сапалы титан қорытпаларын жасау мен өндеудің ғылыми негіздерін жасау өзекті мәселесін қарастыру.

Жабдық салмағының төмендеуін, қышқылға төзімділігін, машина бөлшектері мен механизмдерінің коррозияға және ыстыққа төзімділігін жоғарлататын титан және оның қорытпаларынан жасалған бұйымдардың жоғары өнімділік сипаттамалары, оларды аэроғарыш өнеркәсібі, Қазақстан Республикасының мұнай-газ өндірісі және химия өнеркәсібінде пайдалануға мүмкіндіктер ашады.

Қарастырылатын мәселелер: Компьютерлік Thermo-Calc есептеу программасының көмегімен титан негізіндегі Ti-Al-Nb-Mo және Ti-Al-Mo-V-Zr жүйелерінің фазалық диаграммалары есептеп, олардың политермиялық және изотермиялық қималарын тұрғызу.

Аталған фазалық диаграммалардың политермиялық және изотермиялық қималарын зерттеу нәтижесінде легірлеуші элементтердің Al, Nb және Zr оптимал концентрацияларын және құрамын анықтау.

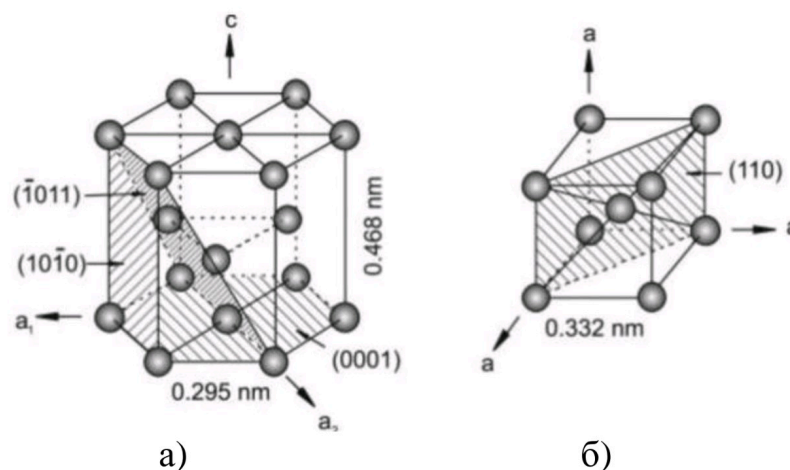
1 Қазіргі титан қорытпалары және оның болашағы

1.1 Титан және негізгі қасиеттері

Жоғары беріктік, төмен салмақ және ерекше коррозияға төзімділік, титанға және оның қорытпаларына тән қасиеттер оларды қолданудың кең ауқымына әкелді, хирургия мен медицинада жоғары сенімділікті талап етеді, сондай-ақ аэроғарыш, автомобиль, химия және басқа да ірі салалар мен өнеркәсіпте кең қолданылады[8]. Көптеген инженерлік қолданбаларда титанды қолданады, берік немесе коррозияға төзімді материалдар ретінде [9-14]. Титанның жоғары қасиетіріне байланысты жасалған құрылымдар жиі кездеседі және өте сенімді, үнемді және ұзақ қызмет ететін жүйелер мен компоненттерді жасау үшін қолданылады. Мұндай титан компоненттері көбінесе күткеннен әлдеқайда асып түседі өнімділігі мен қызмет ету мерзімі жоғары, ал жалпы құны төмен. Титан қорытпаларының бірнеше түрлері қолданылып жатады. Бірақ таза титанның механикалық қасиеттері әртүрлі титан қорытпаларының қасиеттерінен төмен мәндерге ие. титан қорытпалары ең көп қолданылатын қорытпалардың қатарына жатады. Олар өндеуге қабілеттілік бар және тамаша механикалық қасиеттерге ие. Тығыздығы $4,51 \text{ г} \times \text{см}^{-3}$ жеңіл металдардың ішіндегі ең тығыз материал [15], сондықтан аэроғарыштық, автомобильдік және теңіздегі салмақты азайтуға арналған жабдық өнеркәсіпте титан қорытпалары қолданылады. Мұндай қорытпалар да белгілі медицинада да қолданылып келеді.

Тек 573 К төмен температурада пластмассалардың меншікті беріктігі, көміртекті талшықтармен күшейтілген, титан қорытпаларынан жоғары [15]. Жоғары температурада титан қорытпаларының меншікті беріктігіне көп көңіл бөлінеді. Өйткені титан алюминидтері мұны ішінара жеңеді кемшілігі, олар қорытпаларды әзірлеу бойынша қарқынды жұмыстардың тақырыбына айналды. Сол кезде ал жоғары температураға арналған әдеттегі титан қорытпалары қолданылады тек 773 К сәл жоғары температураға дейін, Ti-Al қорытпалары тікелей жақсы бекітілген жоғары температуралы болаттармен бәсекелеседі және никель негізіндегі супер қорытпалар.

Таза титан және көптеген титан қорытпалары төмен деңгейде кристалданады температураны тамаша өзгертілген ГТЖТ айналдырады құрылымы α -титан деп аталады. Жоғары температурада титан β -фазаға айналады, ал құрылым көлемі центрленген тор (КЦТ) болады. Температура полиморфты түрлендіру $1155,5 \text{ К}$ [10,11]. (ГТЖТ) α -титан және көлемі центрленген тор (КЦТ) β -титан схемалық түрде 1.1 суретте көрсетілген, мұнда олардың тығыз орналасқан ұшақтар мен бағыттары. Екеуі де кристалды бір-бірінен ерекшеленетін құрылымдар және сәйкес температурада аллотропты түрлендірулер өте маңызды, өйткені олар титан қорытпаларының көптеген қасиеттеріне әсер етеді.



1.1 сурет - α -титан және β -титанның кристалдық торы схемалық түрде:
а) гексагональды тығыз жинақталған тор (ГТЖТ)
және б) көлемі центрленген тор (КЦТ)

Пластикалық деформация және диффузия жылдамдығына өте қатты байланысты сәйкес кристалдық құрылым. Сонымен қатар, механикалық гексагональды тығыз жинақталған тор (ГТЖТ) анизотропияны тудырады [15].

1.2 Өнеркәсіптікегі титан негізіндегі қорытпалар

Механикалық және технологиялық қасиеттердің ерекшеліктеріне сәйкес титан қорытпаларын үш топқа бөлуге болады:

- пластикалық қасиеттері жоғары (термиялық беріктендірілмейтін) конструкциялық қорытпалар;
- беріктігі жоғары (термиялық өңделетін) конструкциялық қорытпалар;
- ыстыққа төзімді қорытпалар [16].

Беріктігі жоғары титан қорытпаларынан күрделі құрылымдар жасау кезінде механикалық қосылыстар дәнекерленген қосылыстармен ауыстырылды. Бұл жағдайда автоматтандырылған аргондоға және электронды-сәулелік дәнекерлеу қолданылады.

BT6 әмбебап титан қорытпасы 350°C дейінгі температурада шексіз жұмыс істейтін желдеткіш пен төмен (орташа) қысымды компрессордың бөлшектері мен тораптарына (дискілер, қалақшалар, статор бөлшектері, сақиналар, корпустық бөлшектер) ұсынылады. Қорытпа жоғары технологиялық, химиялық құрамның біркелкілігімен, кернеу концентраторларына сезімталдықтың төменділігімен және көп мақсатты қолдану мүмкіндігімен ерекшеленеді. Металлургиялық кәсіпорындар BT6 қорытпасынан жасалған илектелген шыбықтар, дискілерді қалыптау, жылжымалы сақиналар, пышақтарды қалыптау, қаңылтыр түріндегі жартылай фабрикаларды қолданысқа жібереді [17].

BT23 қорытпасы-қолдану температурасы -196 °C-дан +400°C-қа дейін жететін беріктігі жоғары дәнекерленетін титан қорытпасы. Жартылай

фабрикаттардың барлық дерлік түрлері осы қорытпадан дайындалады. ВТ23 қорытпасы "Астрон" ғарыш аппаратының күштік конструкцияларында сәтті қолданылды. Осы қорытпадың жоғары ішкі қысыммен жұмыс істейтін, беріктік деңгейі 1200 МПа болатын дәнекерленген шар тәріздес баллондар дайындалған. Бе-200 гидроұшағының конструкцияларында ВТ23 қорытпасы құрастырмалы және монолитті конструкцияларды дайындау үшін, оның ішінде гидроаккумуляторларды дайындау үшін қолданылады [18].

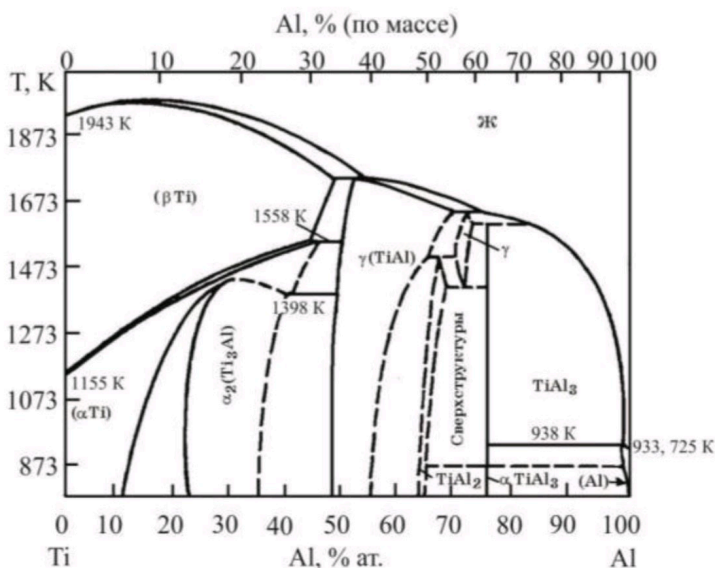
Титан-алюминий жүйесінің күй диаграммасы және физика-химиялық қасиеттері (Ti-Al). Ti-Al екілік жүйесінің фазалық диаграммасы алюминий иондарымен имплантацияланған кезде модификацияланған титан бетінің фазалық құрамын жобалау және болжау үшін маңызды. Анықтамалық әдебиеттерде берілген [19-21]. Алюминий өзінің металлохимиялық қасиеттері (атомдық радиусы, электртерістігі және иондық потенциалы) бойынша көптеген өтпелі металдарға, соның ішінде титанға жақын.

Алюминийдің химиялық қасиеттері (амфотерлік) оның басқа элементтермен әртүрлі химиялық реакцияларға түсуіне мүмкіндік береді. Көптеген өтпелі металдармен, соның ішінде титанмен, алюминий қатты ерітінділердің кең аумақтарын және бірқатар қосылыстарды құрайды. Қатты ерітінділердің кең аймақтарын құруға мұндай таңқаларлық бейімділік танытатын басқа элемент жоқ (Ib-VIB тобы) өтпелі металдар IVA, VA, VIA, VIIA және VIIIA топтары бар қосылыстар. Алюминий қатты ерітінділер мен осы топтардың Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni және басқа металдармен қосылыстар түзеді. Сондықтан өтпелі топтағы көптеген металдар үшін алюминий маңызды легирлеуші элементтердің бірі ретінде қызмет етеді, бұл олардың беріктігін, ыстыққа төзімділігін, ыстыққа төзімділігін және басқа да қасиеттерін арттыруға мүмкіндік береді. Ыстыққа төзімді темір-хром қорытпалары (5 – 10 масс. % Al), құрамында титан мен алюминий бар ыстыққа төзімді никельді қорытпалар белгілі. Барлық осы қорытпа композицияларында алюминийдің ерітіндідегі қосарлы рөлі және қорытпалардың дисперсиялық шындалуы шектеулі қатты ерітінділер мен қосылыстар дисперсті күйде аса қаныққан қатты ерітінділерден бөлінген кезде қатаюға әсер ететін қосылыстардың түзілуіне байланысты көрінеді.

Титан-алюминий қорытпалары күрделі фазалық өзгерістерге ұшырайды, нәтижесінде титан және оның негізіндегі қорытпалар нығайтылады. Алюминий, темір мен болаттардағы көміртегі сияқты, титан қорытпаларындағы ең маңызды легирлеуші элемент болып табылады.

Сондықтан Ti-Al жүйесі көптеген құруға негіз болды деп болжауға болады өнеркәсіптік маңызы бар титан қорытпалары [21]. Титан-алюминий жүйесінің күй диаграммасының соңғы нұсқаларының бірі 1.2 - суретте көрсетілген [21]. Титан-алюминий жүйесінің күй диаграммасы перитектикалық және перитектоидтық түрленулері бар диаграммалар түріне жатады. Алюминий - титанның аллотропты түрлендіру температурасын түрлендіретін бірнеше элементтердің бірі. Осылайша, алюминийді титанға қосқанда, титанның $\alpha \leftrightarrow \beta$ өзгеру температурасы таза титан үшін 1155 К-ден

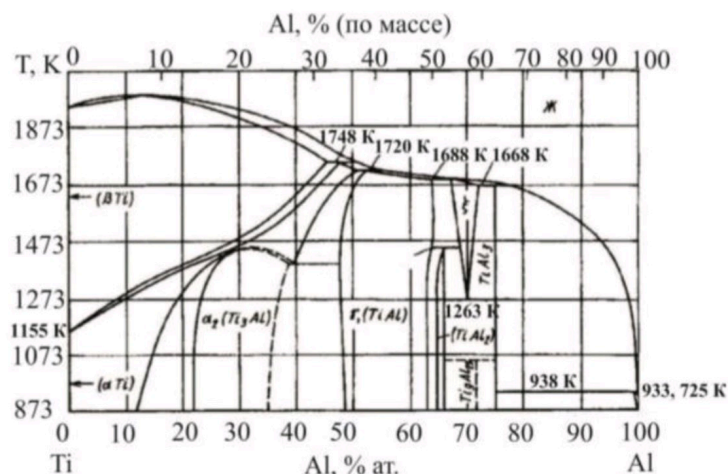
корытпа үшін 1776 К-қа дейін көтеріледі, құрамында 32 масс.% алюминий. Берілген фазалық диаграммадан келесідей жүйеде α -Ti, β -Ti, α_2 -Ti₃Al және γ -TiAl фазалары және TiAl₂, Ti₂Al₅ және TiAl₃ химиялық қосылыстары бар.



1.2 сурет - Ti-Al жүйесінің күй диаграммасы

1717 К-де α -қатты ерітінді арасында концентрациясы 37 масс. % Al және 43 массасы бар сұйықтық. Al , перитектикалық реакция γ -фазаның түзілуімен жүреді, оның кристалдық құрылымы TiAl химиялық қосылысына негізделген. Оның $a = 0,4005$ нм, $c = 0,4070$ нм параметрлері бар CuAu типті реттелген тетрагональды көлемі центрленген кристалдық торы бар [20,21]. Оның периодтары сызықты түрде өзгереді, бұл алюминий мөлшерінің жоғарылауымен тетрагональдылықтың жоғарылауын көрсетеді [20,21]. Жоғары температурада γ -фазаның біртектілігі аймағы 34 пен 47 масса арасында жатыр. Al , ал 773 К және одан төмен температурада – 37 мен 44 масса арасында.

Алюминий мөлшері 54 массада жоғары болғанда. % Al, Ti₂Al₅ интерметалл қосылысы мен алюминийге бай сұйықтық арасындағы перитектикалық реакция нәтижесінде пайда болатын жүйеде TiAl₃ химиялық қосылысы пайда болады. TiAl₃ түзілу перитектикалық реакциясының температурасы 1628 К болатыны анықталды. Түзілген алюминиді TiAl₃ D022 типті тетрагональды дене орталықтандырылған кристалдық торға ие: $a = 0,5436$ нм, $c = 0,8596$ нм, $c/a = 1,581$ [20]. Соңғы шетелдік жұмыстардың бірінде Ti-Al жүйесінің күй диаграммасының басқа нұсқасы ұсынылды (1.3 - сурет).



1.3 сурет – Ti-Al жүйесінің күйінің диаграммасы

1.3 Легірлеуші элементтің титан қорытпасының қасиетіне әсері

Легірлеуші элементтердің титан қорытпаларының қасиеттеріне әсерін түсіну үшін қорытпаларды легірлеудің негізгі бағыттарын қарастыру керек. Моисеевтің еңбектерінде [22,23] легірлеуші элементтерді таңдау арқылы титан қорытпаларының эксплуатациялық сипаттамаларын жақсартудың негізгі бағыттары қарастырылған.

Бұл легірлеуші элементтер полиморфтік өзгеріс температурасына айтарлықтай әсер етпейтіндігі, сонымен қатар титан қорытпасының баяу деформациялануға төзімділігін арттыратыны атап көрсетілген. α -фазасын тұрақтандыру үшін қорытпаларды Zr және Sn элементтерімен легірлейді. Қалайы Sn α -фазаның сынғыштық қасиетін азайтып, оның беріктігін жоғарлатуға мүмкіндік береді. Zr α -фазаның тұрақтануына қатысты бейтарап элемент болып табылады. Оның шамасы 5% - ға дейін болады және ол бөлме мен аралық температураларда қорытпалардың беріктігін арттырады [24].

Алайда, легірлеудің мұндай тәсілі сөзсіз титан қорытпаларының пластикалық қасиеттерінің төмендеуіне алып келеді. Нәтижесінде жоғары 16 температурада пластикалық қасиеттері ең жоғары α -қорытпалары морт сынғыш бола бастайды.

β -тұрақтандырғыш легірлеуші элементтерді α -тұрақтандырушы элементтермен бірге енгізу перспективалы бағыт болып табылады. Себебі ол қорытпалардың жоғары температуралық беріктіктің артуына ықпал етеді. Негізгі β -тұрақтандырғыштар молибден және ванадий болып табылады. Ал Nb сирек қолданылады. Cr, Fe, W сияқты элементтер β - фазада тұрақты ериді, титанмен эвтектоидтық қоспалар құрайды және қорытпалардың сынуға бейімділігін арттыратын элементтер болып табылады [25]. Жоғары температуралық беріктіктің жоғарылауы β - фазасындағы диффузия коэффициентінің жоғарылауы болып табылады. Мұндай қорытпаға мысал ретінде Ti-Al-Mo-Nb ұсынуға болады. Бұл жағдайда бөлме температурасында

иілгіштік шамамен 4% құрайды. Алайда, тығыздығы жоғары (Nb) металдарды легірілеуші элемент ретінде қолдану қорытпаның беріктігін төмендетуге ықпал ететінін атап өткен жөн.

Әдеби дерек көздерге сүйенсек [26-31], қалыпты температурада жұмыс істеу үшін қыздырып өңделген немесе термиялық шындалған күйдегі екі фазалы ($\alpha+\beta$) қорытпалары ең оптималды материалдар болып табылады.

Легірілеуші элементтердің әсерлері әртүрі болып келеді. Сондықтан оларды қолданудың өздеріне тиісті тәсілдері болуы керек. Кейбір қоспалар (мысалы: иттрий, эрбий) қорыпалардың құрылысын құрайтын кристал түйіршіктерін ұсақтайды және қоспа элементтердің атомдарын түйіршікаралық және фазааралық шекараларда топтастырады. Ал басқалары (мысалы: гафний, қалайы, цирконий) қайта кристалдану және іштей ыдрау процестерін қыйындатады. Осыған байланысты, титан қорытпаларының құрылысы мен қасиеттерін жақсартудың ең тиімді әдісі - комплексті микролегірілеу болуы мүмкін. Комплексті легірілеу қорытпалардың біртекті 18 құрылымдық - фазалық күйін қалыптастыруға және балқыма-қосылыстың сенімділігін арттыруға [32].

1.4 Қорытынды

Титан қорытпаларын жасау саласындағы ғылыми-техникалық және патенттік әдебиеттерді талдау қазіргі уақытта әртүрлі мақсаттағы бірнеше жүз тәжірибелік композициялар және жүзден астам өнеркәсіптік титан қорытпалары жасалғанын көрсетті. Олардың құрылымы мен қасиеттерін зерттеуге көптеген зерттеулер арналды, оларда қорытпалардың механикалық қасиеттері мен химиялық құрамы арасындағы сандық байланысты орнатуға бірнеше рет әрекет жасалды.

Бірақ олар қорытпалар қасиеттерінің олардың фазалық құрамына және құрылымдық жағдайына, сондай-ақ техникалық шарттар шегінде легірілеуші элементтер мен қоспалар құрамының ауытқуларына жоғары сезімталдығына байланысты біржақты нәтиже бермеді.

Қазіргі уақытта 600-700°C температура диапазонында машиналар мен механизмдердің ұзақ мерзімді жұмысын қамтамасыз етуге қабілетті ыстыққа төзімді титан қорытпаларын алу технологиялары толық әзірленбеген, олар ғылыми-техникалық өңдеу сатысында. Ресейде де, ТМД елдерінде де, шетелде де зерттеулер.

2 Зерттеудің әдістері мен объектілері

2.1 Бастапқы материал

Гамма қорытпаларын дайындау үшін қайта балқытылғанан кейінгі иодидті титан ТИ-1 (1 Кесте), алюминий А₉₉₅ (2 кесте), Al-Nb және Al-Mo (3 кесте) лигатурасы қолданылды [34].

1 кесте – Титан ТИ-1 химиялық құрамы

Материал	Негізгі элементтердің құрамы, %масс.							
	Ti	қоспалар						
		Fe	C	O	Ni	N	Ti	Cl
Иодидті титан	99,95	0,005	0,01	<0,01	0,005	<0,002	-	-

2 кесте – Алюминий А₉₉₅ химиялық құрамы

Материал	Негізгі элементтердің құрамы, %масс.							
	Al	қоспалар						
		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ti	Ga
А ₉₉₅	99,995	0,0015	0,0015	0,001	0,001	0,001	0,001	0,0030

3 кесте –Al-Nb және Al-Mo лигатурасының химиялық құрамы

Лигатураның атауы	Негізгі элементтердің құрамы, %масс.		
	Al	Nb	Mo
Al-Nb	49,6	50,4	-
Al-Mo	53,3	-	46,7

4 кесте –Ниобидің Nb химиялық құрамы

Негізгі элементтердің құрамы, % масс.									
Nb	қоспалар								
	N	O	H	C	Si	a	Fe	Ti	W+Mo
Негізгі төмендететін	0,01	0,1	<0,001	<0,01	<0,005	0,1	<0,005	<0,005	<0,01

2.2 Al-Zr және Al-Mo лигатураларын дайындау әдістемесі

Al-Zr лигатураларын дайындау әдістемесі. Электролизердегі қалпына келтіру. Электролиттік ұяшықта қалпына келтіру кезінде цирконий ваннаға губка түрінде немесе техникалық цирконий диоксиді түрінде (құрамы 74,8% Zr, 1-3 кг мөлшерінде) әр 6 сағат сайын енгізіледі. электролит қыртысында тесілген «терезе» [35]. Цирконийдің бас сүйегінде жиналуы және оның астарға өтуі Al-B және Al-Ti қорытпаларын өндіруге қарағанда әлдеқайда жоғары. Осыған байланысты цирконийге бай лигатура өндірісінде іс жүзінде 15–20 күннен кейін құрамында цирконий бар затты енгізу тоқтатылады және «шлам» 3-5 күн бойы өңделеді [36]. Бұл жағдайда алюминий балқымасындағы цирконий концентрациясының күрт төмендеуі байқалмайды. Бұл жұмыс режимі алюминий балқымасына цирконийдің алынуын арттыруға, ваннада көп мөлшерде шөгінділердің пайда болуына жол бермеуге және қажетті цирконий мөлшері бар қорытпаны алуға мүмкіндік береді.

Электролиз ваннасы келесі технологиялық параметрлері бар Zr бар лигатураларды өндіруде тұрақты жұмыс істейді: ток күші 64400–64700 А; жұмыс кернеуі 4,5–4,7 В; криолит қатынасы 2,80–2,93; электролит температурасы 961÷974°C.

Цирконийді алюминий балқымасына алу 86%, ал лигатурадағы темір мен кремнийдің мөлшері әрқайсысында 0,07–0,12% (масса бойынша) құрайды.

Жоғарыда айтылғандарды ескере отырып, цирконий оксидінен алюминий-цирконий негізгі қорытпасын дайындау әдісі әлі жеткілікті зерттелмеген, бірақ алдын ала эксперименттер көрсеткендей, сілтілі металдардың хлоридтері мен фторидтерімен үйлескенде, ол төмен технологиялық температураға қол жеткізу және интерметалдық қосылыстардың ұсақ түйіршікті құрылымы бар негізгі қорытпаны алуға болады.

Al-Mo лигатурасы "Arcast Arc200» зертханалық вакуумдық доғалы пеште дайындалды. Al-Mo лигатурасын дайындау үшін 50%-дан таза алюминий мен молибден қолданылды. Шихта түйіршіктерден тұрады. Балқығанға дейінгі вакуум 1*10⁻⁴ мм сын.бағ. Пеште вакуум алу уақыты 1 сағат. Аргонның қысымы 250-300 мм сынап бағанасымен, ток күші 250-500 А, кернеуі 25-30 В. Аударуға дейін балқыту уақыты 2 минут. Қызып кеткен кезде алюминий балқытылғаннан кейін молибден ери бастайды. Балқытылған металл ваннасың жақсы араласуы үшін пеш алты рет аударылып, одан кейін металл қалыптарға (кокильдерге) құйылды. Al-Nb лигатурасын дайындау үшін де жоғарыда аталған процесстер қайталанды.

2.3 Титан қорытпаларынан жасалған үлгілерді термиялық өңдеу әдісі

Титан қорытпаларының құрамы мен қызметі бойынша жасыту, шынықтыру, ескірту және химиялық-термиялық өңдеуді жүргізеді. α -

қорытпалар $800 \div 850^{\circ}\text{C}$, ал $\alpha + \beta$ -қорытпалар $700 \div 800^{\circ}\text{C}$ температурада жасытады.

Қорытпаны $870 \div 980^{\circ}\text{C}$ дейін және одан әрі қарай $530 \div 660^{\circ}\text{C}$ төзімді – изотермиялық жасытуда қолданады. Соңғы жылдары вакуумды жасыту кеңінен қолданылады, себебі титан қорытпалардағы сутегінің мөлшерін азайтады. α және $\alpha + \beta$ - қорытпаларды механикалық өңдеу кезінде түзілетін ішкі кернеуді жою үшін $550 \div 650^{\circ}\text{C}$ шала жасыту қолданылады. $\alpha + \beta$ қорытпаларын шынықтыру және ескірту арқылы күшейту (нығайту) мүмкін.

Титан қорытпаларының беріктігі оның таза өзінің беріктігінен екі есе жоғары болғандықтан машина жасаудағы құрылымдық материал ретінде титанның басқа элементтермен қорытпалары қолданылады.

Титан қорытпаларын термиялық өңдеу (жасыту, шынықтыру, ескірту) титанның екі полиморфты модификациясының, ГТЖТ торы бар төмен температуралы α - фазасының және жоғары температуралы β - фазасының болуына байланысты болатын фазалық түрлендірулерге негізделген [37,38].

Титан қорытпаларында полиморфты $\beta \rightarrow \alpha$ - трансформация болуы мүмкін екі жолмен [38]:

- диффузия механизмі салқындату жылдамдығымен жүзеге асады бірінші критикалықдан ($V1_{кр}$) аз және жаңа α -бөлшектердің генерациясы мен өсуі арқылы жүреді.

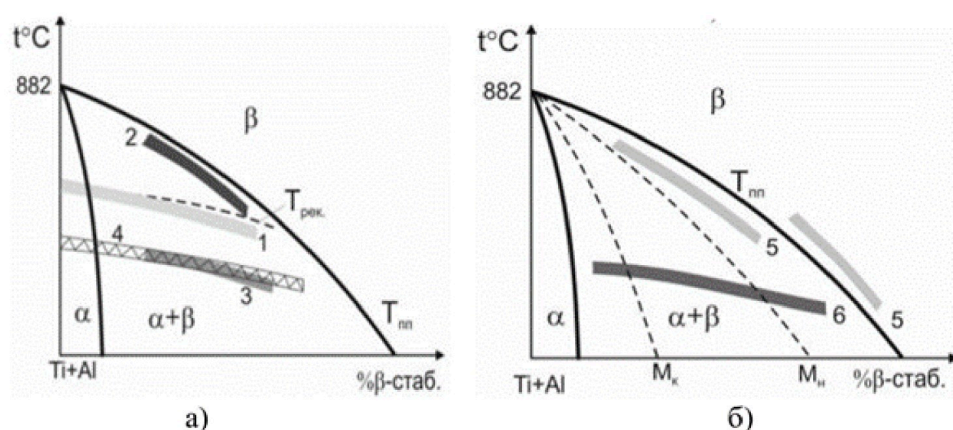
- мартенситтік (диффузиясыз, ығысу) механизм мартенситтік $\alpha'(\alpha'')$ фазасының түзілуімен бірінші критикалық ($V1_{кр}$) жылдамдығынан жоғары жылдамдықпен салқындату кезінде жүзеге асырылады.

Жасыту - титан қорытпалары толық және ішінара қыздыруға, кернеуді жеңілдетуге, толық қарапайым қыздыруға, изотермиялық қос қыздыруға, қайта кристалдануға ұшырайды. Қыздыру құрылымын, фазалық құрамын теңестіру, қасиеттердің біркелкілігіне қол жеткізу, пластиканы арттыру, сонымен қатар алдыңғы өңдеу кезінде пайда болатын ішкі кернеулерді жою мақсатында жүргізіледі (2.2 а - сурет).

Күшейтетін термиялық өңдеу тек екі фазалыға қолданылады титан қорытпалары және екі кезеңді қамтиды - қатаю және ескіру.

Титан қорытпаларының қатаюдан кейін және одан кейінгі қатаю қабілеті сөндірілетін құрылымдағы фазалардың санына байланысты қорыпа [38].

Шынықтыру - титан қорытпаларын қатайту үшін оңтайлы қыздыру температурасы бұл жағдайда қандай фазалар түзілетінімен анықталады (2.1 б - сурет).



2.1 сурет – Титан қорытпаларының қыздыру (а) және қатайту термиялық өңдеуінің (б) түрлері мен температуралық интервалдары

Тр – температура және қайта кристалдану; 1 – қарапайым қыздыру; 2 – қос және изотермиялық қыздырудың жоғарғы сатысы; 3 – қос және изотермиялық қыздырудың төменгі сатысы; 4 – толық емес қыздыру; 5 – қатаю; 6 – ескіру;

2.4 Қорытпалардың фазалық құрамы мен құрылымын зерттеу әдістері

Құрылымдық зерттеулер оптикалық (ОМ), сканерлеу (СЭМ) және мөлдір электронды микроскоптар (МЭМ) көмегімен жүргізілді. Шлифтерді дайындау үшін механикалық (BUENLER Phoenix 4000) және электролиттік жалтырат өңдеу әдістері қолданылды. Қорытпадағы түйіршіктердің шекараларын анықтау үшін, содан кейін үлгілердің түйіршіктерінің орташа мөлшерін анықтау үшін 2,5%-ды HBF₄ ерітіндісінде анодтау процесі қолданылды.[39]

Микроқұрылымды анықтау плавик қышқылының 1% ерітіндісімен шлифтердің бетін өңдеу арқылы жүргізілді. Қорытпалардың фазалық құрамы мен құрылымын зерттеу оптикалық микроскопта JEOL JXA-8230 анализаторы бар электронды растрлық сканерлеу микроскопында зерттелді. Соңғы жағдайда максималды фазалық контрастты алу үшін шағылысқан электронды режим де, жәнede үлкейту кезінде максималды жақындатудың (20000 есеге дейін) қайталама электронды режиміде пайдаланылды [39].

Сондай-ақ қорытпалардың микроқұрылымы Leica (Германия) оптикалық микроскопында зерттелді. Бұл микроскоп 100-ден 1000 есеге дейін ұлғайған кезде металдар мен қорытпалардың фазалық құрамы мен құрылымдық ерекшеліктерін зерттеуге арналған.

JEOL JXA-8230 микроскобында 4 кристалды толқындық спектрометрдің көмегімен титанның катты ерітіндісінің бастапқы

кристалдарының құрамына және 5 мкм-ден кем емес бөлшектердегі басқа фазаларға микро рентгено спекторлық талдау жүргізілді [39].

Сонымен қатар, зерттеудің химиялық, механикалық және құрылымдық әдістерін толықтыру үшін зерттелетін үлгілердің сапалық және сандық фазалық құрамы «BrukerD8 Advance» рентген дифрактометрінде рентгендік дифракциялық талдауды қолдану арқылы анықталды. Құрылғы жоғары өнімділікке және деректерді өңдеу дәлдігіне ие. Құрылғының компьютерінде DIFFRAC plus SEARCH әлемдік файлы орнатылған, оның көмегімен мәліметтер нәтижелері өңделіп, дереу басылып шығарылады [39].

2.5 Титан қорытпаларынан жасалған үлгілердің механикалық қасиеттерін анықтау әдісі

Үлгілердің қысымға қарсыласу қабілетін анықтау. Жоғары температурада біз Hydrowedge II модулі орнатылған Gleeble 3800 термомеханикалық процестерін физикалық модельдеу кешенінде жүргіздік. Сынақ үлгілері ретінде диаметрі 6 мм және биіктігі 10 мм цилиндрлер қолданылды. Үлгілерді қыздыру электр тогын тікелей өткізу арқылы жүзеге асырылды. Температураны бақылау үшін термопаралар (S типті) тікелей үлгі бетіне дәнекерленді. Сынақтар 10-4 мм сын.бағ.вакуумда жүргізілді. Үлгілер мөлшерінің өзгерістерін дәл тіркеу үшін сынақтың осы түріне арнайы бейімделген және қолданылатын үлгілер өлшемі траверзаның қозғалысын емес, жүргізілетін сынақтар барысында цилиндрлік үлгілердің биіктігі мен диаметрінің тікелей өзгеруін тіркейтін аспалы датчиктер (экстензометрлер) пайдаланылды. Сынақ нәтижелері бойынша 20-1000°C температура арасында Юнг модулінің, аққыштық шегінің және пропорционалдық шектің тәуелділігі анықталды.

Үлгілердің созылуға қабілетін анықтау. Созылу сынақтарын жүргізу үшін әр қорытпадан ГОСТ 1583-93 сәйкес металл құймақалыпқа шыбықтар құйылды. Барлық үлгілер үшін созылу сынақтары Р-10 типті ұзу машинасында жүргізілді. Үлгілердің механикалық қасиеттері уақытша кедергі (σ_u), шартты аққыштық шегі ($\sigma_{0.2}$) және салыстырмалы ұзару (δ) мәндерімен бағаланды.

Үлгілердің қаттылығын анықтау. Бұл жұмыста ГОСТ 6012-59 сәйкес Бринелл бойынша стандартты қаттылықты өлшеу жүргізілді. Қаттылықты өлшеу үшін диаметрі 2,5 мм болат шар инденторы бар, көп функциялы стационарлық HBV-30A қаттылықты өлшейтін құрылғы қолданылды. Индикаторға 62,5 кг жүктеме берілді. Әр сынақтың уақыты 15 секунд болды. Әр үлгі үшін үш өлшемнен тұратын серия жасалды.

Қаттылықты өлшейтін құрылғы Бринелл мен Виккерс бойыншы қара және түсті металдардың қаттылығын өлшеуге арналған, сонымен қатар, массивті және үлкен, жұқа және кішкентай үлгілердің қаттылығын өлшеуге бейімделген [39].

Кристалдардың микроқаттылығын анықтау. Титан қорытпаларының құрылымдық компоненттерінің микроқаттылығы 10г жүктеме кезінде ПМТ-3 М құрылғысында (анықталды. Шлифтер электролиттік жылтырату арқылы микроқаттылықты анықтау үшін және сканерлеуші электронды микроскоп арқылы құрылымды егжей-тегжейлі талдау үшін дайындалды. Қорытпалардың ликвидус пен солидус температураларын анықтау үшін дифференциалды термиялық талдау жүргізілді. Бұл зерттеулердің мақсаты күй-жай диаграммаларының фрагменттерін құру және нәтижелерді есептелген деректермен салыстыру үшін қорытпалардағы фазалық өзгерістердің критикалық температурасын анықтау болды.

2.6 Көп компонентті системалардың фазалық диаграммаларын компьютерлік есептеу әдісі

Дипломдық жұмыста эксперименттік әдістерді қолдану арқылы, сондай-ақ заманауи Thermo-Calc бағдарламасының көмегімен [39] титан негізіндегі көп компонентті системалардың күй диаграммаларының политермиялық және изотермиялық қималары, ликвидус және солидус беттерінің проекциялары. Сонымен бірге титан қорытпаларының тепе-тең емес күйде кристалдану процестері есептелді.

Жалпы теориялық есептеулер: 1) фазалық тепе-теңдік және термодинамикалық қасиеттер бойынша эксперименттік ақпаратты үйлестіруді жүзеге асыруға; 2) үш немесе одан да көп компоненттік системалардың жаңа фазалық диаграммаларын тұрғызу үшін эксперименттік зерттеулерге қажетті шығын көлемі мен уақытты айтарлықтай қысқартуға; 3) тәжірибелік деректер жоқаймақтарда, қорытпалардың химиялық құрамы мен 28 температурасына байланысты термодинамикалық қасиеттерін болжауға мүмкіндік береді.

Thermo-Calc бағдарламасын қолдану көп компонентті жүйелердің әрекетін термодинамикалық болжау нәтижесінде эксперименттік жұмысты оңтайландыру арқылы уақыт пен материалдық шығындарды едәуір азайтуға мүмкіндік береді.

Thermo-Calc бағдарламасы Thermo-Calc бағдарламалар пакеті 1997 жылы Корольдік технологиялық институтының (Стокгольм, Швеция) материалтану және инженерлік ғылымдар кафедрасы негізінде құрылған Thermo-Calc Software (TCS) компаниясының өнімі болып табылады. Thermo-Calc Software компаниясы материалдарды әзірлеу және зерттеу саласындағы сандық модельдеу сегментіндегі ең тәжірибелі бағдарламалық жасақтама жеткізушілерінің бірі. Thermo-Calc бағдарламалық жасақтамасы бүкіл әлемде кең таралған және термодинамикалық модельдеу үшін ең көп қолданылатын бағдарламалық жасақтама болып табылады. Thermo-Calc бағдарламасының артықшылығы термодинамикалық мәліметтер базасын қолдана отырып, тепетеңдік күй мен термодинамикалық шамалардың стандартты есебін ғана емес, сонымен қатар есептеудің арнайы түрлерін де қамтамасыз ету

мүмкіндігін беруінде: мысалы, DICTRA модулі көп компонентті қорытпалардағы диффузияны дәл модельдеуге мүмкіндік береді [40]. TCS компаниясымен жасаған бағдарламалардың құрамына келесі өнімдер кіреді:

Thermo-Calc Classic-TCC. Тепе-теңдік күйді, термодинамикалық қасиеттерді және фазалық диаграммаларды зерттеудің қуатты құралдарына ие Thermo-Calc бағдарламасының классикалық нұсқасы TCInterfaces.Интерфейсті дамыту құралы.Бұл модуль өз бағдарламаларымызды әзірлеу кезінде Thermo-Calc қолдануға мүмкіндік береді DICTRA- Diffusion Simulation Software.Көп компонентті қорытпалардағы диффузия процесін модельдеуге арналған әмбебап құрал. Databases- Thermodynamics and Diffusion.Thermo-Calc Software ThermoCalc және DICTRA үйлесе отырып,термодинамика және диффузия туралы мәліметтер базасының кең таңдауын ұсынады.

Thermo-Calc for Windows.TCW4 - Windows амалдық жүйесіне арналған Thermo-Calc бағдарламасының бейімделген нұсқасы. Модельдеу процессін зерттеушілерге максималды дәрежеде ыңғайлы етеді, ал күрделі есептеулерді жүргізу оңтайлы жолдармен жүргізіледі.

Thermo-Calc бағдарламасы тепе-теңдік жүйелерімен, яғни ішкі ауытқуларға және температурамен құрам сияқты бірқатар параметрлерге қатысты тұрақты күйде болатын классикалық термодинамиканың моделіне негізделген. Тепе-теңдік күйіндегі қасиеттерді анықтайтын бұл параметрлер күй айнымалысы деп аталады. Күй айнымалыларының басқа мысалдары қысым және химиялық потенциал. Термодинамика тепе-теңдік күйіндегі кез келген термодинамикалық параметрлерді есептеуге мүмкіндік беретін күй айнымалылары арасындағы сандық қатынасты қарастырады [40].

2.7 Қорытынды

Механикалық және технологиялық қасиеттері жоғары перспективалы титан негізіндегі қорытпаларды әзірлеуді орындау үшін титан қорытпаларының үлгілерінің құрылымын зерттеу және талдау әдістері берілген:

- зерттеуге қажетті құрал-жабдықтарды, аспаптарды және материалдарды таңдау жасалды;
- титан қорытпаларының фазалық құрамы мен құрылымын зерттеу әдістерінің сипаттамасы берілген;
- механикалық қасиеттерді бақылау әдістемесі анықталды;
- көпкомпонентті жүйелердің фазалық диаграммаларын компьютерлік есептеу әдістемесі таңдалды және сипатталды.

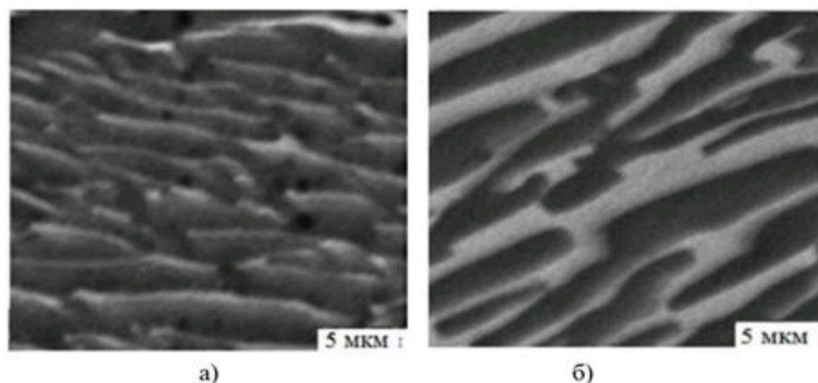
3 Ғылыми – зерттеу нәтижелері

3.1 Ti-Al-Mo-V-Zr системасы қорытпасының фазалық құрамы мен құрылысына талдау

Жасалатын титан қорытпаларының құрылымдық күйі мен қасиеттерінің қажетті деңгейін қамтамасыз ету үшін олардың жеке құрамдарын ғылыми негізделген тандау, құю және өңдеу технологияларын жетілдіру бойынша кешенді теориялық және эксперименттік зерттеулер жүргізу қажет. Жұмыстың мақсаты Ti-Al-V-Mo-Zr фазалық диаграммасын және термиялық өңдеудің титан қорытпаларының фазалық құрамы мен құрылымына әсерін есептік және тәжірибелік әдістермен зерттеу болды. Бұл зерттеу көпкомпонентті титан қорытпаларының құрамын негіздеу үшін қажетті ғылыми базаны құруға бағытталған.

Зерттеу объектісі өнеркәсіптік өндірістің Ti-Al-V-Mo-Zr жүйесінің қорытпасының құймалары («консольдық» типті) болды. Құймадан кесілген өлшемі 10x10x15 мм үлгілер 800 және 950°C муфельді пеште жасытылды. Жасыту кезінде коррозиядан қорғау үшін плазма-электролитті тотығу процесіне сәйкес үлгілердің бетіне қорғаныш жабын жағылды. Ұстағаннан кейін үлгілер екі жолмен салқындатылды: пеште салқындату және суық суда салқындату.

Ti-Al-V-Mo-Zr жүйесінің қорытпасының құрылымы дәстүрлі трансформацияланған β -түріне жатады және (ГТЖТ) титандағы легірлеуші элементтер мен қоспалардың қатты ерітіндісінің α -фазасынан тұрады. КЦТ және титандағы легірлеуші элементтер мен қоспалардың қатты ерітіндісінің β -фазасының аздаған мөлшері КЦТ. Титан қорытпалары термиялық өңдеу арқылы шыңдалады: шынықтыру немесе ескірту. Жасыту немесе шынықтыру кезінде олар жақсы икемділікке, жоғары беріктікке және шынықтырудан кейін ыстыққа төзімділікке ие болады. Қорытпа құрылымында β -фаза неғұрлым көп болса, соғұрлым ол жасыту күйде күштірек болады және термиялық өңдеу кезінде соғұрлым күштірек болады. Құрамында әртүрлі қоспалармен термиялық өңдеуден кейінгі қорытпаның типтік микроқұрылымы (3.1-суретте) көрсетілген.



3.1 сурет - Термиялық өңдеуден кейінгі Ti-Al-V-Mo-Zr жүйесінің қорытпасының микроқұрылымы: а) 800°C, б) 950°C

800°С жасытудан кейін алынған үлгілердің микроқұрылымында колониялар түріндегі полиморфты трансформация кезінде шынықтыру кезінде түзілетін және әртүрлі бағытта бағдарланған α -фазаның кішкентай күңгірт субмикронды пластиналары байқалады, сонымен қатар β -фазаның үлесінің аз бөлшері байқалады (3.1 а - сурет) . Жасыту температурасын 950°С дейін арттыру α -пластинкалардың көлемі мен қалыңдығының ұлғаюына және олардың бір бағытта бағытталуына, сонымен қатар β -фазаның үлес салмағының артуына әкеледі (3.1 б - сурет).

Фазалық құрамды эксперименталды түрде анықтау үшін бірнеше жылтыратылған қималар талданған. Нәтижелер 5-кестеде көрсетілген.

5 кесте - Ti-Al-V-Mo-Zr жүйесінің қарастырылатын қорытпасының фазалық құрамы

Құрамдас бөліктер	Температурадағы фазалардағы компоненттердің құрамы			
	800° С		950° С	
	α	β	α	β
Al	6.7	4.9	7.6	6.2
Zr	2.1	2.5	1.7	2.2
Mo	0,8	8.2	0.2	1.8
V	1.4	4.9	0,7	2.0
Ti	89.1	79.5	89.7	87.8

Кестеден көріп отырғанымыздай, α және β фазалардың таралуындағы ең маңызды айырмашылық молибден мен ванадий β -тұрақтандырғыштарға тән. Атап айтқанда, β -фазадағы молибден концентрациясы температура 800-ден 950°С-қа дейін жоғарылағанда 8,2-ден 1,8%-ға дейін, ванадий – 4,9-дан 2,0%-ға дейін төмендейді, ал цирконий концентрациясының бұл фазадағы өзгеруі мардымсыз, бұл цирконийдің титанның аналогы болып табылатындығына және оны осы қорытпаларда изоморфты түрде ауыстыруына байланысты.

Әртүрлі жасыту температураларында Ti-Al-V-Mo-Zr жүйесінің қорытпаларының құрылымдық күйін зерттеу 800-ден 950°С-қа дейінгі температура диапазонында β -фазаның құрамы 90%-ға дейін күрт өсетінін көрсетті. Бұл жағдайда β -тұрақтандырғыш элементтердің Mo және V концентрациясы α және β фазаларында да төмендейді, ал алюминий мен цирконийдің (титанның изоморфты аналогы) құрамы шамалы өзгереді.

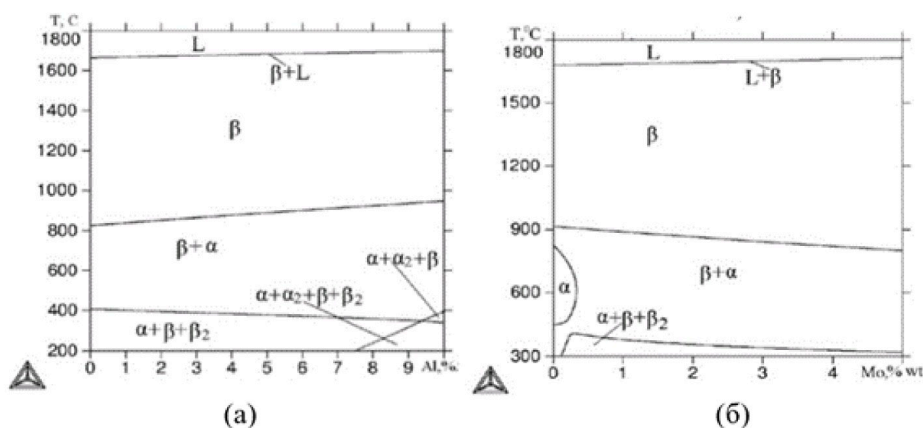
3.2 Ti-Al-Mo-V-Zr системасының фазалық диаграммасының политермиялық қимасына сандық талдау

Көпкомпонентті қорытпалардың фазалық құрамын жартылай сандық бағалау үшін политермиялық және изотермиялық қималар қолданылады. Титан қорытпалары үшін талдау графикалық әдіспен жүргізілді.[46] Дегенмен, графикалық технологияның мүмкіндіктері өте шектеулі, әсіресе төрттік және одан да күрделі жүйелер жағдайында. Бұл жұмыста Thermo-Calc бағдарламасында титан негізіндегі фазалық диаграммалардың политермиялық және изотермиялық қималары салынған.

Политермиялық секциялар салқындату және қыздыру кезінде жеке легирлеуші элементтердің солидус және ликвидос сызықтарына әсерін және қорытпаның фазалық құрамының қалыптасуын бағалауға мүмкіндік береді.

Политермиялық қыйма ванадий, цирконийдің (1,3% V және 2% Zr) тұрақты концентрациясын және алюминий, молибденнің ауыспалы концентрациясын қолдану арқылы есептелді, бұл осы легирлеуші элементтердің фазалық ауысу температурасына әсер ету дәрежесін анықтауға мүмкіндік береді. Әсіресе қыздыру кезінде β -өріске өту. Ti-Al-V-Mo-Zr жүйесінің фазалық диаграммасының политермиялық бөлімдерінің фрагменттері (3.1-суретте) көрсетілген.

Модельдеу көрсеткендей, температура төмендеген сайын зерттелетін қорытпаларда бірнеше интерметалдық фазалар пайда болады, қорытпалар бір фазалы β -өрістен екі фазалы $\beta + \alpha$ -өріске одан әрі қарай үш фазалы $\alpha + \beta + \beta_2$ өрісіне және тіпті төрт фазалы $\alpha + \alpha_2 + \beta + \beta_2$ өріске өткендігін көруге болады.



3.1 сурет - Ti-Al-V-Mo-Zr жүйесінің фазалық диаграммасының политермиялық қималарының фрагменттері: а) 1,3% V, 2% Zr, 1,3 Мо; б) 6,5% Al, 1,3% V, 2% Zr

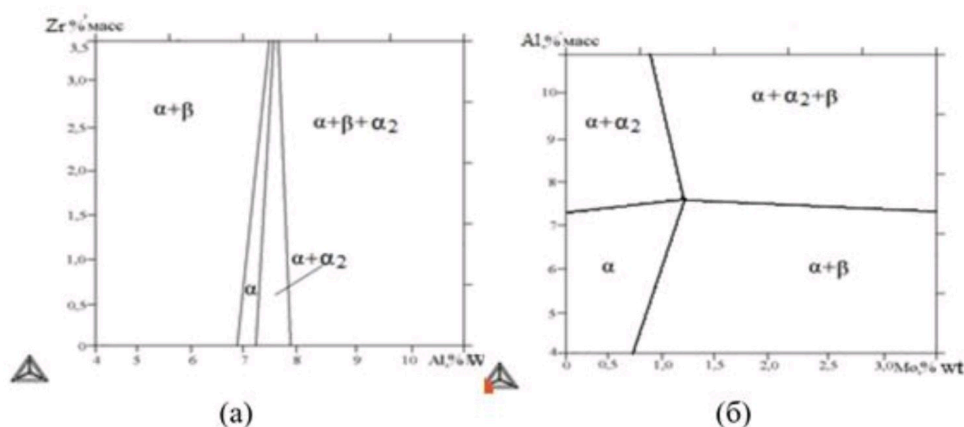
Барлық қорытпалардың маңызды сипаттамалары балку, қатаю және термиялық өңдеу режимдерін анықтайтын солидус және ликвидус сызықтары болып табылады. Суреттен көрініп тұрғандай, Al және Mo концентрацияларының зерттелген өрісінде интервал 5–6°C аспайды.

3.3 Ti-Al-Mo-V-Zr системасының фазалық диаграммасының изотермиялық қимасына сандық талдау

Жетілмеген кристалдану, әсіресе титан қорытпаларының, әдетте, құйманың жеке бөліктерінің орташа мәннен айтарлықтай ауытқуына әкеледі. Осылайша, құймалар қыздырады; қыздыру кезінде тепе-теңдікке жақын композиция пайда болады.

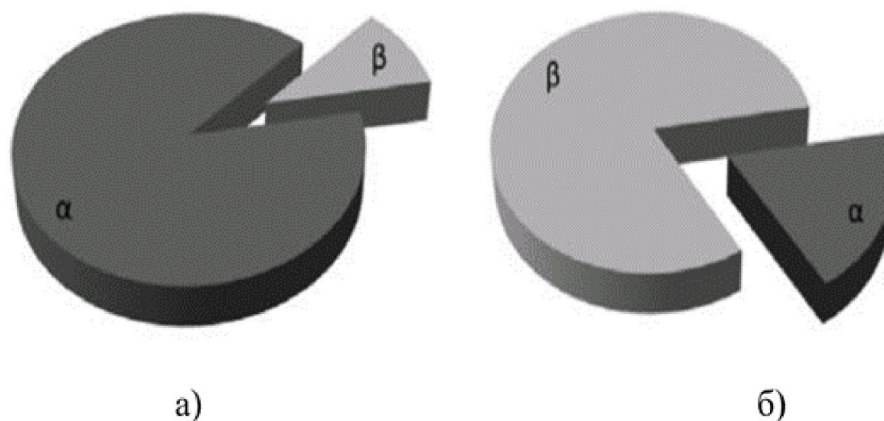
Зерттелетін қорытпалардың фазалық құрамына алюминий, молибден және цирконийдің (β -тұрақтандырғыштар) бірлескен әсері Ti-Al-V-Mo-Zr жүйесі үшін де есептелді. Осы Ti жүйесінің фазалық диаграммасының 800 °C температурадағы изотермиялық қималарының фрагменттері (суретте-3.2) көрсетілген.

Thermo-Calc бағдарламасы қысқа уақыт ішінде қиманың үлкен санын есептеуге мүмкіндік береді. Күрделі жүйелер үшін мұндай бағалауды графикалық әдіспен жүргізу мүмкін емес. Бұл жағдайда легірлеуші элементтер мен температуралардың берілген концентрацияларында фазалық құрамның сипаттамаларын есептеу қажет болады.



3.2 сурет - 800°C кезіндегі Ti-Al-V-Mo-Zr жүйесінің күй диаграммасының изотермиялық қималарының фрагменттері: а) 1,3% V, 1,3% Mo; б) 2%Zr,1,3% V

800°C температурадағы изотермиялық қималар Al, Zr және Al, Mo екі элементінің әртүрлі фазалардың түзілуіне бірлескен әсерін талдауға мүмкіндік береді. Есептеулер көрсеткендей, α және β фазалардан басқа, бұл қорытпада интерметалдық фаза α_2 (Ti_3Al) болуы мүмкін, бұл жағымсыз, өйткені оның болуы икемділігін төмендеуіне әкеледі. Бұл жерде сонымен қатар эксперименттік түрде жүзеге асыру қиын құймалардың өнімділік сипаттамаларына айтарлықтай әсер ететін артық фазалардың пропорцияларын анықтау қызығушылық тудырады. α және β фазалық қатынасының есептелген мәндері (3.3 - суретте көрсетілген).



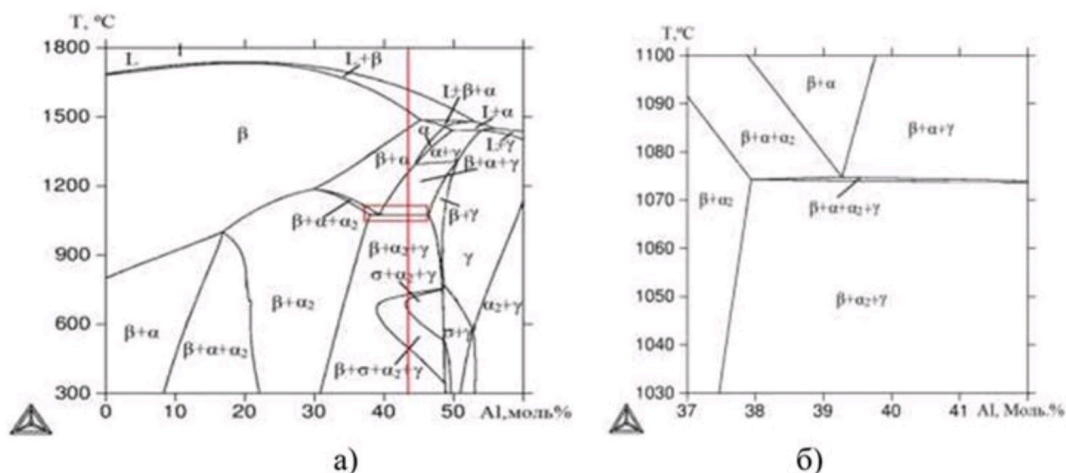
3.3 сурет - TiAl-V-Mo-Zr жүйесінің қорытпаларының α және β фазаларының қатынасының есептелген мәндері: а) 800°C; б) 950°C

Суреттен көрініп тұрғандай, 800-ден 950°C-қа дейінгі температура диапазонында β -фазаның мөлшері 8 есеге (10-нан 80%-ға дейін) артады, бұл жағдайда температура диапазонында байланысты фазалық ауысудың болуын көрсетеді. Жоғарыда айтылғандардың негізінде құрамында (%): 6,5 Al, 1 V, 1 Mo, 2 Zr және жасыту температурасы 800°C және 950°C кезінде Ti-Al-V-Mo-Zr жүйесінің қорытпаларының тәжірибелік үлгілері бойынша есептеу нәтижелерін тексеру туралы шешім қабылданды.

3.4 Ti-Al-Nb-Mo системасының фазалық диаграммасының политермиялық қимасы

Төрт компонентті системалардың политермиялық қималары үш компонентті системалардың политермиялық қималарынан сапалық жағынан айырмашылығы аз. Екі жағдайда да олар фазалық аймақтардың шекараларын координаталық концентрацияда (компоненттердің бірінде) – температурада көрсетеді. Олар осы қима қорытпалары үшін фазалық өзгерістердің температурасын анықтауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, олар фазалық аймақтардың үлкен санын қамтиды және олардың көпшілігін анықтау кеңейтілген масштабты қажет етеді. Сондықтан төрт компонентті системаның бір политермиялық қимасын талдау үшін көбінесе бір неше графикалық суреттер қолданылады. Nb мен Mo тұрақты концентрацияларында (сәйкесінше 4,4 және 1,1%) және алюминийдің гамма қорытпаларына қолданылатын айнымалы концентрациясында есептелген политермиялық қима (3.4-суретте) көрсетілген. Гамма қорытпаларының тепе-теңдік күйде кристалдануы тек екі температурамен сипатталады: ликвидус (TL) және солидус (TS). В-аймағында суытылғаннан кейін полиморфты өзгеріс ($\beta \rightarrow \alpha$), содан кейін қайтадан γ кристалдардың бөлінуі және эвтектоидтық $\alpha \rightarrow (\alpha_2 + \gamma)$ орыналады. Ол көбінесе қорытпалардың соңғы құрылысын анықтайды. Айта

кету керек, бұл төрт компонентті системада төрт фазалы ($\beta + \gamma + \alpha + \alpha_2$) өзгеріс орыналады.



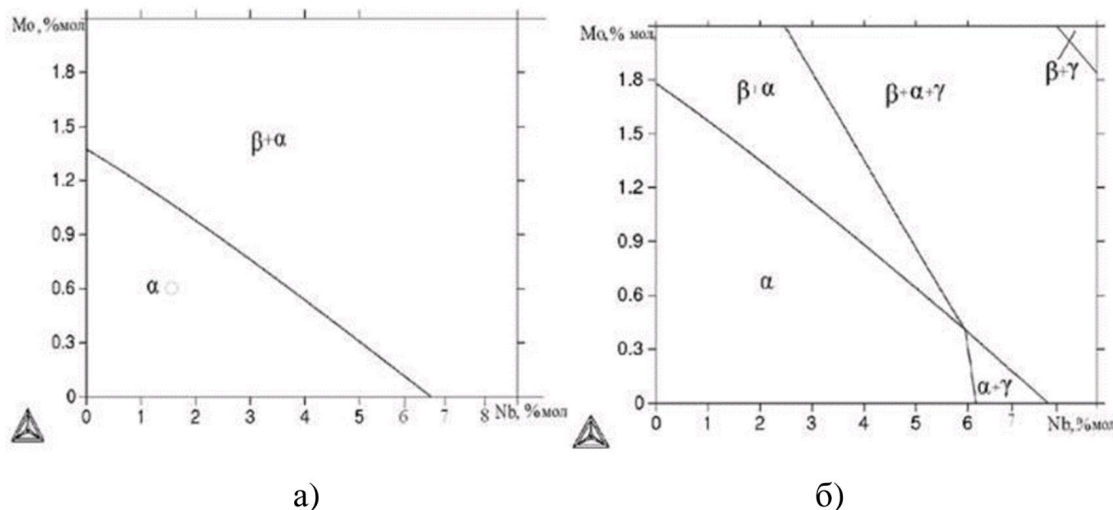
3.4 - сурет Ti-Al-Nb-Mo жүйесінің диаграммасының политермиялық қимасы: а) 4,4 % Nb , б) 1,1 % Mo

Термодинамикалық есептеу әдісі зерттелген қорытпаларда әртүрлі фазалар пайда болатындығын жақсы көрсетті. Құрамында 43% Al бар қорытпасында сұйық фазадан алдымен β фаза кристалданады, бұл (3.4 – суреттен) айқын көрінеді. Температура төмендеген кезде бір фазалы баймақтан қорытпа екі фазалы $\beta + \alpha$ аймағы арқылы үш фазалы $\beta + \alpha + \gamma$ аймаққа өтеді. Төрт фазалы аймақты зерттеу өту үшін құрамында 40% Al бар Ti-Al-Nb-Mo системасының политермиялық қимасы қарастырылды. Эвтектоидтық төрт фазалы реакция ($\beta + \alpha + \alpha_2 + \gamma$) құрамында 38-тен 46% дейін алюминий болатын қорытпаларда жүреді (3.4 б - сурет). Одан кейінгі суыту кезінде орын алатын өзгерістерді есептеу σ фазаның пайда болуы мен қайтадан жоғалу температураларын, сондай-ақ β фазаның толығымен жоқ болуының температуралық шекараларын көрсетеді. Бұл өзгерістер қорытпалардан жасалатын бұйымдардың жұмыс температуралар диапазонына сәйкес келеді. Бұл жалпы жағдайда аса тиімді емес, өйткені бұл қорытпалардың құрылысының тұрақсыздығын білдіреді. Сондықтан таңдалып алынған қорытпалардағы алюминий концентрациясы ~43 % -тен аспауы керек. Thermo-Calc бағдарламасы салыстырмалы түрде қысқа мерзімде осындай қималардың көп мөлшерін есептеуге мүмкіндік береді.

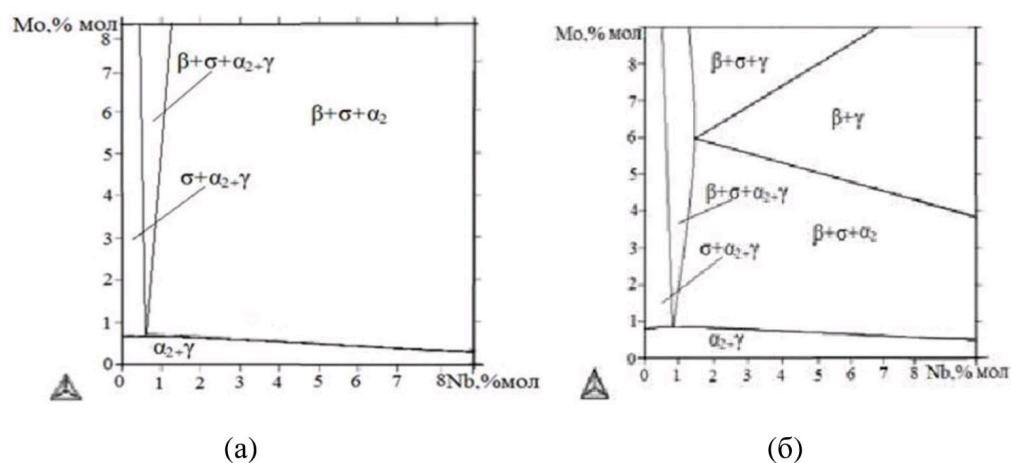
3.5 Ti-Al-Nb-Mo системасының фазалық диаграммасының изотермиялық қимасы

3.5 және 3.6 - суреттерде Ti-Al-Nb-Mo системасының 1100-1250°C температураларда есептеліп тұрғызылған изотермиялық қималары көрсетілген.

1100°C температурада (яғни эвтектоидтық өзгеріс температурасынан жоғары), компоненттердің сандық қатынасына байланысты α , γ , β және σ фазаларының қатысуымен екі, үш және төрт фазалық аймақтар құрылады (3.5 а- сурет).



3.5 сурет - Ti–Al–Nb–Mo системасы диаграммасының 1100 ° C температурадағы изотермиялық қималары: а) Al–40% ; б) Al–43%



3.6 сурет - Ti–Al–Nb–Mo системасы диаграммасының 1250 ° C температурадағы изотермиялық қималары: а) Al – 40% ; б) Al – 43%

Осы температурада қарастырылып отырған қорытпалар үш фазалы аймақта орналасқан, алайда. Ниобийдің концентрациясы аздап төмендеген кезде, β фазаның шамасы азайып, жоқ болады. Сонымен қатар, молибден мен ниобийдің концентрацияларының артуы құрамында 43% алюминий бар қорытпаларда (3.5 б-сурет) α -фазаның жоғалуына алып келеді. α - фазаның әсері тиімсіз болғандықтан, бұл қималар берілген температурада жұмыс істеуге арналған γ - қорытпаның құрамын дұрыс таңдау қажеттілігін көрсетеді. Құрамында 40% алюминий бар қорытпалардың (3.6 а-сурет) ниобий

концентрациясына тәуелділігі айтарлықтай аз. Бұл қорытпаларда β -фаза молибден мен ниобийдің қосынды шамалары жоғары болған кезінде ғана пайда болады. (3.6 б- суретте) құрамында 43%Al, 1%Mo және 4%Nb бар қорытпалар 1250 °C температурада екі фазалы ($\beta + \alpha$) аймаққа түсетіндігі көрсетілген. Ниобий концентрациясының шамалы өзгерісі бір фазалы (α) және үш фазалы ($\beta + \alpha + \gamma$) аймақтарға ауысуына әкелетіні байқалады.

3.6 Ti–Al–Nb–Mo системасы қорытпасының фазалық құрамы мен құрылысы

Құрамында 1 және 2 мол.% Mo бар төрт компонентті системаның қорытпаларында орыналатын фазалық өзгерістер есептелді. Есептеу нәтижелері 6 және 7-кестелерде көрсетілген. 6-кестеден 1400°C температурада Ti - 43% Al - 4% Nb - 1% Mo қорытпасы екі фазалы ($\alpha + \beta$) екендігін, жәнеде β фазасының салыстырмалы шамасы 31,34% - үштен бір бөлін құрайды. Осы фазадағы Mo және Nb концентрациясы α фазасына қарағанда біршама жоғары. 1200°C-та бұл фазаларға γ -фазасы (Mo шамасы аз) қосылады. 1000°C және одан төмен температураларда қорытпадағы фазалар саны үшке (α_2 , β және γ) жетеді, ал γ фазаның мөлшері 75% жуықтайды.

6 кесте - Ti-43Al-4Nb-1Mo системасы қорытпасының фазалық құрамының әртүрлі температурадағы сандық параметрлері

T, °C	Фаза	Q _м , масс. %	Элементтер құрамы, % (дислокациялардың масс. алынған)			
			Ti	Al	Nb	Mo
1400	α	68,66	57,72	30,34	10,36	1,58
	β	31,34	55,21	27,55	13,26	3,98
1200	α	33,56	61,20	27,36	9,71	1,73
	β	18,95	54,54	24,70	15,09	5,67
	γ	47,49	54,87	32,86	10,85	1,42
1000	β	10,63	51,19	22,04	16,61	10,16
	α_2	16,38	67,21	23,77	8,25	0,77
	γ	72,99	55,47	31,82	11,17	1,54
800	β	2,67	37,94	18,30	20,78	22,98
	α_2	22,63	68,57	22,46	7,98	0,99
	γ	74,70	54,09	31,99	11,93	1,99
600	β	3,35	4,52	7,40	42,68	45,40
	α_2	21,85	71,51	21,61	6,39	0,49
	γ	74,80	55,03	32,75	11,29	0,93

Ti–41% Al–4% Nb–1% Mo қорытпасы алдыңғы қорытпадан, негізінен β фазасының көптігімен және 600°C σ фазаның пайда болуымен ерекшеленеді (7 кесте). Дәл осы фазаларда молибденнің концентрациясы ең жоғары (шамамен

50 масса.%). Айта кету керек, есептеу σ фазасында ниобийдің жоқтығын көрсетті.

7 кесте - Ti-41Al-4Nb-1Mo системасы қорытпасының фазалық құрамының әртүрлі температурадағы сандық параметрлері

T, °C	Фаза	Q _м , масс %	Элементтер құрамы, % (фазалы масс. тұратын)			
			Ti	Al	Nb	Mo
1400	α	31,43	57,13	31,19	9,40	2,28
	β	68,56	54,21	28,18	11,94	5,67
1200	β	48,73	54,73	24,80	13,03	7,44
	γ	51,27	55,51	33,24	9,35	1,90
1000	β	30,03	52,00	22,16	14,52	11,32
	α_2	0,11	67,98	24,02	7,14	0,85
	γ	69,86	56,45	32,13	9,70	1,72
800	β	12,25	39,06	18,52	18,62	23,80
	α_2	15,04	69,19	22,65	7,12	1,04
	γ	72,71	54,93	32,25	10,72	2,10
600	β	5,76	4,69	7,37	41,13	46,81
	α_2	18,06	71,92	21,73	5,83	0,52
	γ	74,15	55,64	32,95	10,41	1,00
	σ	2,03	30,06	17,10	< 0,01	52,84

Алынған мәліметтерден Ti-Al-Nb-Mo системасы қорытпаларын балқыту үшін 1600-1650°C температураларынан жоғары, ал термиялық өңдеу үшін - 1300-1350°C-тан төмен температураларда жүргізілуі керек екендігі анықталды. Молибден кристалдану диапазонын (ΔTNS) аздап жоғарылататындықтан, бұл элемент құрамында бір ниобий қоспасы бар гамма қорытпаларының құю қасиеттеріне кері әсер етпеуі керек екендігі белгілі болды.

3.7 Қорытынды

Ti-Al-V-Mo-Zr және Ti-Al-Nb-Mo жүйесінің изотермиялық және политермиялық қималары Thermo-Calc бағдарламасы арқылы есептелді, бұл зерттелетін қорытпаның фазалық құрамына екі легирлеуші элементтің бірлескен әсерін бағалауға мүмкіндік береді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Дипломдық жұмыста ұсынылған Thermo-Calc бағдарламасы титан негізіндегі қорытпалардың фазалық құрамын талдауда өте қолайлы құрал ретінде ұсынылуда. Бұл бағдарлама кез-келген бөлімді құруға ғана емес, сонымен қатар әр түрлі температурада қорытпаның фазалық құрамын сандық деңгейде есептеуге мүмкіндік береді (фазалардың массалық және көлемдік үлестері, сондай-ақ олардағы элементтердің концентрациясы).

Ti-Al-V-Mo-Zr жүйесінің изотермиялық және политермиялық қималары Thermo-Calc бағдарламасы арқылы есептелді, бұл зерттелетін қорытпаның фазалық құрамына екі легирлеуші элементтің бірлескен әсерін бағалауға мүмкіндік береді.

Төрт компонентті Ti-Al-Nb-Mo жүйесі таңдалды және ниобий мен молибден қосымша легирлеуші элемент ретінде қолдануға негізделді. Ниобий қорытпаның беріктігі мен пластикалық қасиеттеріне комплесті әсер етеді, β фазаның түзілуін жеңілдетеді, гамма фазасын тұрақтандырады және оның аймағын кеңейтеді. Молибден γ -фазаның температуралық аймағын кеңейтеді және жұмыс температурасының аралығын арттырады.

Thermo-Calc бағдарламалық өнімі арқылы есептелген, 40 және 43% алюминий концентрациясы бар политермиялық және изотермиялық қималар тұрғызылды. Алюминий мөлшері 43% болған кезде γ -фазаның аймағы кеңейіп, оның тұрақтылығы артады. Сонымен қатар, оның өңделіп жатқан қорытпаның эксплуатациялық және технологиялық қасиеттерін төмендететін 40% Al бар қорытпадан айырмашылығы, жұмыс істейтін температураға жақын жерде сынғыш σ -фаза пайда болмайды. Оптималды концентрация ретінде - Ti-43Al-4Nb-1Mo таңдалып алынды.

Белгілер мен қысқартулар

Ti – титанның негізіндегі қатты ерітіндісі
Al – алюминийдің негізіндегі қатты ерітіндісі
TL – ликвидус температурасы
TS – солидус температурасы
TN_S–тепе-теңдікте емес солидус температурасы
ΔT – кристалдану аралығы
ФД–фазалық диаграмма
ЫТҚ - ыстыққа төзімді титан қорытпасы
ТҚ – термодинамикалық қасиеттер
КЦТ–көлемі центрленген тор
ҚЦТ – қыры центрленген тор
ГТЖТ–гексагональды тығыз жинақталған тор
α – α-титан негізіндегі қатты ерітінді
β – β-титаннегіздегі қатты ерітінді
γ – TiAl алюминидіне негізделген қатты ерітінді,
α – Ti₃Al алюминидіне негізделген қатты ерітінді

Анықтамалар

Бұл дипломдық жұмыста келесі терминдер сәйкес анықтамаларымен бірге пайдаланылады:

Қорытпа – екі немесе одан да көп құрамдас бөліктердің қосындысынан жасалған өнім, қажетті металдың бірі (бір міндетті метал), ГОСТ және техникалық шарттарға сәйкес келетін пропорцияда қосылыс балқыту немесе еріту арқылы алынған.

Ыстыққа төзімділік – конструкциялық материалдардың жоғары температурада (0,3-0,8 Тм) ұзақ уақыт бойы деформацияға және бұзылуға қарсы тұру қабілеті.

Фаза – жүйенің белгілі бір бөлігі, ол арқылы өту кезінде құрылымы мен қасиеттері өзгереді.

Ликвидус - қорытпаның кристалдана бастайтын температура.

Солидус - жүйелердің кристалдануының соңындағы температура.

Күй диаграммасы (фазалық диаграмма) - температураға, қысымға және құрамға байланысты термодинамикалық жүйенің барлық мүмкін күйлерінің графикалық көрінісі (әдетте компоненттердің молярлық немесе массалық үлесімен көрсетіледі).

Компонент - термодинамикалық жүйенің барлық фазаларын құру үшін ең аз саны жеткілікті болатын химиялық индивид.

Легирлеу – негізгі материалдың қасиеттерін өзгерту үшін қорытпалардың құрамына қоспаларды енгізу.

Химиялық қосылыс – екі немесе одан да көп элементтердің химиялық байланысқан атомдарынан (гетеронадролық молекулалар) тұратын күрделі зат.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 А.Г.Илларионов, А.А.Попов технологические и эксплуатационные свойства титановых сплавов//Екатеринбург Издательство Уральского университета. - 2014. - 138 с.
- 2 Л.Б. Зубков Космический металл// Все о титане. – М.: Наука, – 1987. – 128 с.
- 3 Г. И. Николаев Металл века. – М.// Металлургия. – 1982. С.– 168
- 4 Л.А. Костыгова Устойчивое развитие титановой отрасли // Экономика в промышленности. – 2012. - №7. – С.20-26.
- 5 J. Mater. Res. Ultrafine grained titanium for biomedical applications//An overview of performance C.N. – 2013. -С.-340–350.
- 6 B.B. Chechulin [et. al] // Titanium Alloys in Machine Industry -1977.- С. -248
- 7 R.R. BoyerAn overview on the use of titanium in the aerospace industry // Mater. Sci. – 1996 -С. 103–114..
- 8 V.N. Moiseyev, Titanium Alloys Russian Aircraft and Aerospace Applications // -2005. -С. 216 – CRC Press,
- 9 J. Alloys Compd. Hot deformation behavior of Ti-6.0Al-7.0Nb biomedical alloy by using processing map – 2014. –Y. Liu [et. al]. С. 183–189.–V. 587.
- 10 A. Gao Electrochemical surface engineering of titanium-based alloys for biomedical application – 2018. С. 699–718.–V. 271. – // Electrochim. Acta. – 2015. -С. 416
- 11 Y.Q. Ning [et. al] Microstructure and superplastic deformation for aerospace Ti-alloys associated with α phase curing behavior // Aerosp. Sci. Technol. 421.
- 12 Leyens C. Titanium and Titanium Alloys: Fundamentals and Applications / C. Leyens, M. Edited by Christoph Leyens, Manfred Peters, Published by WILEY-VCH Verlag–Peters. GmbH & 532–Co. KGaA, Weinheim, First Edition, 2003.
- 13 Различные виды классификации отечественных титановых сплавов / Егорова Ю.Б. [и др.] // Титан, 2012. - №2 (36). - С.11-18.
- 14 Титановые сплавы для автомобилестроения / Егорова Ю.Б. [и др.] // Материалы 3-й Международной научно-практ. конференции «Современное машиностроение. Наука и образование», 20-21.06.2013 – СПб: Изд-во Политехн.ун-та, 2013. - С.1137-1146.
- 15 Лех Г.И. Исследование влияния режимов деформации и термической обработки на структуру, фазовый состав и комплекс механических свойств нового жаропрочного титанового сплава BT18УОП и разработка металлургических основ производства штамповок дисков из этого сплава для новых авиационных двигателей. Автореферат диссертации на соискание уч.ст. к.т.н. – Москва.: ВИЛС, 1992. – 25 с.

- 16 М. :—Хансен М. Структуры двойных сплавов: В 2 т. / М. Хансен, К. Андерко. 608 с.—ГНТИЦМ, 1962. — Т. 1.
- 17 М. :—Вол А.Е. Строение и свойства двойных металлических систем / А.Е. Вол. 755 с.— Т. 1. —ИФМН, 1959.
- 18 Диаграммы состояния двойных металлических систем : справочник : в 3 т. / Н.П. 991 с.— Т. 1. — М. : Машиностроение, 1996. —Лякишев.
- 19 Moiseyev V. N. Advances in Metallic Alloys Volume 5 Titanium Alloys: Russian Aircraft and Aerospace Applications Taylor & Francis Group, LLC 2006.
- 20 Sysoeva N. V., Moiseev V. N. High-strength granulated titanium alloys with the intermetallic type of hardening //Metal Science and Heat Treatment Vol. 44, Issues 7 – 8.-2002.- P. 304-308.
- 21 Onodera H., Ohno K., Yamagata T. Effect of β -stabilizer content on tensile properties of $\alpha+\beta$ Titanium Alloys// Transactions of Nat. Research Institute for metals, 1988. - V.30. - №2. - P. 1-8.
- 22 Pan Wang, Jining Qin, Weijie Lu and Yifei Chen. Creep Behavior of In Situ Synthesized 7715D Titanium Matrix Composite Materials Transactions, Vol. 50, No. 6.-2009.-P.1411 -1417.
- 23 Bondarev B.I., Elagin D.V., Molotkov A.V. and Notkin A.B. Metal Science and Engineering Aspects of TiAl-based Binary Alloys Investigations // in Y.-W. Kim, et al., eds., Gamma Titanium Aluminides (Warrendale, PA: TMS, 1995), P.803-810.
- 24 Park S.Y., Seo D.Y., Kim S.W., Kim S.E., Hong J.K., Lee D.B. High temperature oxidation of Ti-46Al-6Nb-0.5W-0.5Cr-0.3Si-0.1C alloy// Intermetallics, 2016.- V.74.- P. 8-14.
- 25 Hartfield-Wunsh S.E., Sperling A.A., Morrison R.S., Dowling Jr W.E., and Allison J.E. Titanium Aluminide Automotive Engine Valves // in Y.-W. Kim, et al., eds., Gamma Titanium Aluminides (Warrendale, PA: TMS, 1995), P.41-52.
- 26 Austin C.M., Kelly T.J., McAllister K.G. and Chesnutt J.C. Aircraft Engine Applications for Gamma Titanium Aluminide // in M.V. Nathal, et.al., eds., Structural Intermetallics (Warrendale, PA: TMS, 1997) ,P.413-425.
- 27 Dim Arai M., Imamura R., Matsuda K., Nakagava Y., and Hosokawa T. Development of TiAl Blades for Large Low Pressure Turbine // Materia Japan, 1997.- V.36.- P.394-369.
- 28 Pettersson B., Axelsson P., Andersson M. and Holmquist M. Cast XDTM Gamma Titanium Aluminide Turbine Blade Dampers // in Y.-W. Kim, et al., eds., Gamma Titanium Aluminides (Warrendale, PA: TMS, 1995), P.33-40.
- 29 Сведения о метрологическом обеспечении диссертации. ... 105. А.Ж.Терликбаева., А.М.Алимжанова., Р.А. Шаяхметова, Д.У. Смагулов. Расчет фазовых превращений в сплавах системы Ti-Al-Mo-V и Ti-Al-Mo-V-Cr.
- 30 Лякишев Н.П., Плинер Ю.Л., Игнатенко Г.Ф. Аллюминотермия. М.: Металлургия. 1978. 424 с.

- 31 Напалков В.И., Махов С.В., Попов Д.А. Производство лигатур для алюминиевых сплавов //МиТОМ. 2011. №10. С. 26–30.
- 32 . Гордиенко, А.И. Структурные и фазовые превращения в титановых сплавах при быстром нагреве./ А.А. Шипко - Минск: Наука и техника, 1983, 335 с.
- 33 Вульф, Б.К. Термическая обработка титановых сплавов.. М.: Металлургия, 1969
- 34 Электронная информация на сайте www.thermocalc.com.
- 35 Агеев Н.В. Диаграммы состояния металлических систем.-М.: ВИНТИ, № 1-24.- 1959-1980 г
- 36 А.А. Il'in, B.A. Kolachev and I.S. Pol'kin. // Titanium Alloys. Composition, Structure, Properties. // Reference Book. M: VILS – MATI, 2009. - P. 520.
- 37 . R.U. Cahn, P. Haasen. Physical metallurgy. Phase transformations in metals and alloys with special physical properties / Translated into Russian. – М.: Metallurgy, in 3 books, Book 2. 1987. – P. 624.
- 38 . Vojtěch D., Popela N., Hamáček J., Kützendörfer J. The influence of tantalum on the high temperature characteristics of lamellar gamma + alpha 2 titanium aluminide // Materials Science and Engineering A 528. 2011. – P.8557.
- 39 . Huang Z.W., Voice W., Bowen P. Thermal exposure induced $\alpha_2 + \gamma \rightarrow \beta_2(\omega)$ and $\alpha_2 \rightarrow \beta_2(\omega)$ phase transformations in a high Nb fully lamellar TiAl alloy // Scripta Materialia. 2003. V. 48. – P. 79.
- 40 . А.А. Il'in, B.A. Kolachev and I.S. Pol'kin. //Titanium Alloys.Composition, Structure. Properties, A Reference Book. VILS – MATI. Moscow. 2009.- P. 520.
- 41 . N.A. Belov, S.O. Beltyukova, V.D. Belov, A.M. Alimzhanova. Quantitative analysis of phase composition of TiAl-V-Mo-Zr system for casting alloy VT20L. //Extractive metallurgy and heat treatment of metals. No. 3 (729). 2016. – P. 28-33.
- 42 . Y.L. Bibikov [and others]. Manufacture of shaped castings from titanium alloys. – М.: Metallurgy, 1983. – 296 p.
- 43 . B.A. Kolachev, A.A. Il'in. Ti-Al-Mo system as the base of the diagram of phase composition of annealed titanium alloys //Nonferrous metals. 2005. No. 6. – P. 56-61.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРҒЫ БІЛІМ
МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Мейрамбекова Әйгерім Балғынбекқызы

«Титанның негізіндегі қорытпаларда жүретін фазалық және құрылымдық өзгерістерді олардың құрамы мен температурасына байланысты зерттеу» тақырыбына орындалған дипломдық жұмысына

ПІКІР

Мейрамбекова Әйгерім Балғынбекқызының дипломдық жұмысында эксперименттік әдістерді қолдану арқылы, сондай – ақ заманауи Thermo-Calc бағдарламасының көмегімен титан негізіндегі көп компонентті системалардың күй диаграммаларының политермиялық және изотермиялық кималары, ликвидус және солидус беттерінің проекциялары. Сонымен бірге титан қорытпаларының тепе-тең емес күйде кристалдану процестері есептелді. Al-Nb және Al-Zr лигатураларын қолдана отырып, бір фазалық ү-қорытпасын дайындау әдісі әзірленді. Титан қорытпасының температураға байланысты фазалық құрамының өзгеріс, құрылысы мен қасиеттері зерттелді.

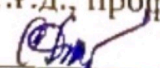
Жұмыста Thermo-Calc бағдарламасын қолдану көп компонентті жүйелердің әрекетін термодинамикалық болжау нәтижесінде эксперименттік жұмысты оңтайландыру арқылы уақыт пен материалдық шығындарды едәуір азайтуға мүмкіндік беретіні көрсетілді.

Дипломдық жұмысын орындау кезінде Мейрамбекова Әйгерім Балғынбекқызы өз мамандығы бойынша жеткілікті білім дәрежесін, тәжірибелік зерттеу әдістерін жақсы игергенін көрсетті. Жана теориялық есептеу әдістерімен танысуға және оларды іс жүзінде қолдануға үлкен қызығушылық танытты.

Мейрамбекова Әйгерім Балғынбекқызының дипломдық жұмысы «Жаксы» деген бағаға, ал дипломаттың өзіне 6B07109 - "Инженерлік физика және материалтану" білім беру бағдарламасы бойынша академиялық «Бакалавр» дәрежесін беруге лайықты деп есептеймін.

Ғылыми жетекші:

Т.ғ.д., профессор

 Смағұлов Д.Ұ.

« 02 » маусым 2023 ж

РЕЦЕНЗИЯ

Дипломдық жұмыс

Мейрамбекова Әйгерім Балғынбекқызы

6B07109 – «Инженерлік физика және материалтану» мамандығы

Тақырыбы: «Титанның негізіндегі қорытпаларда жүретін фазалық және құрылымдық өзгерістерді олардың құрамы мен температурасына байланысты зерттеу»

Мейрамбекова Әйгерім Балғынбекқызының дипломдық жұмысы титанның негізіндегі қорытпаларда жүретін фазалық және құрылымдық өзгерістерді олардың құрамы мен температурасына байланысты өзгерісін зерттеуге бағытталған.

Дипломдық жұмыс келесі бөлімдерден тұрады: кіріспе, негізгі бөлім, зерттеу нәтижелерін талдау, қорытынды және пайдаланылған әдебиеттер тізімі. Бірінші бөлімде титанның дамуы мен болашағы туралы мәліметтер қарастырылған. Екінші бөлімде зерттеу әдістері мен объектілері және титан негізіндегі қорытпаларды дайындау әдісі көрсетілген. Үшінші бөлімде титан негізіндегі Ti-Al-Mo-Nb және Ti-Al-Mo-V-Zr системаларының фазалық диаграммалары және политермиялық және изотермиялық қыймалары тұрғызылып және зерттеу нәтижелеріне талдау жасалған. Дипломдық жұмысты орындау барысында студент университеттен алған білімін пайдаланып, өзінің ғылыми және тәжірибелік білімінің жақсы екендігін көрсетті.

Дипломдық жұмыс бойынша тек мәтінде кездесетін кейбір орфографиялық қателер барын ескерсек, аталған кемшілік жүргізілген зерттеуге әсері жоқ.

Жұмыстың бағасы

Дипломдық жұмыс толығымен аяқталған, стандартқа сай ғылыми еңбек болып табылады. Дипломдық жұмысы қойылған барлық талаптарға сай келеді және 98 - «те жақсы» бағамен қорғауға жіберіледі.



Рецензент

PhD,

Досжанов Е.О.

2023 ж

Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер
департаменті директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры
көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагнаттың алдын алу және анықтау жүйесінің
толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Мейрамбекова Әйгерім Балғынбекқызы

Тақырыбы: Титанның негізіндегі қорытпаларда жүретін фазалық және құрылымдық
өзгерістерді олардың құрамы мен температурасына байланысты зерттеу

Жетекшісі: Смагулов Д.У

1-ұқсастық коэффициенті (30): 1.1

2-ұқсастық коэффициенті (5): 0

Дәйексөз (35): 0.2

Әріптерді ауыстыру: 22

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 0

Ақ белгілер: 0

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер
департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

☒ Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған
байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

☐ Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың
шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі
жазғанына қатысты күмәнтудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу
мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

☐ Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады
немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты
жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Негіздеме:

Күні

29.05.2023

Кафедра меңгерушісі

Құдайбергенов К.К.

